

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

Návrh a optimalizace držáku sloupku  
řízení závodního automobilu

Design and optimalization of racing car's  
steering column

Student:	Bc. Lukáš Hornáček
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Jakub Šmirus

Ostrava 2014

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Hornáček**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 20 Silniční doprava  
Téma: **Návrh a optimalizace držáku sloupku řízení pro soutěžní vůz**  
**Design and Optimalization of a Racing Car's Steering Column**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Studie používaných konstrukčních řešení
3. Vypracování koncepčních variant a konstrukčního návrhu držáku sloupku řízení
4. Prokázání mechanických a užitných vlastností návrhu s důrazem na technické výpočty
5. Kvalitativní a ekonomické zhodnocení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. BEDNÁŘ, Josef.: Experimentální pružnost, vyd. 1., Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha, 1970, 269 s., Skripta.
2. KOLEKTIV: Pružnost a pevnost II. díl, vyd. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha, 1963, 180 s., Skripta.
3. KOLEKTIV: Pružnost a pevnost I. díl, vyd. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha, 1963, 191 s., Skripta.
4. Školící materiály ŠKODA AUTO, a.s.
5. Software ETKA, ERwin

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Šmíraus**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty


**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat Ing. Jakubovi Šmirusovi a panu Václavu Trkolovi za konzultace a vstřícný přístup při řešení technických detailů a za poskytnutí odborných rad při řešení této diplomové práce.

## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2014

  
.....

podpis studenta

### **Prohlašuji, že**

- byl jsem obeznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdání své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18.5.2014



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Lukáš Hornáček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Na vyhlídce 27, 785 01, Šternberk

## **Anotace bakalářské práce**

Název práce: Návrh držáku sloupku řízení závodního vozu Škoda  
Autor: Bc. Lukáš Hornáček  
Katedra: 342 – Institut dopravy  
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jakub Šmiraus, Institut dopravy Strojní fakulty  
VŠB – Technické univerzity v Ostravě

Diplomová práce se zabývá návrhem držáku sloupku řízení závodního automobilu. V první části práce je popsán legislativní stav zpracovávané problematiky z hlediska provozu vozidel na pozemních komunikacích a z hlediska technických předpisů. Další část se zabývá návrhem koncepčních variant, výpočtem napětí a deformací metodou konečných prvků, dále použitými materiály a technologií výroby zvolené varianty držáku do závodního automobilu. Závěrem práce je vytvořen 3D model, pomocí CAD softwaru, výrobní výkres držáku a technologický postup výroby ohýbané součásti držáku.

Klíčová slova: ochranný rám, technické předpisy, zákon o provozu na pozemních komunikacích, svařování, materiál držáku, metoda konečných prvků

## **Annotation of thesis**

Title: Design and optimalization of racing car's steering column

Author: Bc. Lukáš Hornáček

Department: 342 – Institute of transport

Supervisor: Ing. Jakub Šmiraus, Institute of transport, Faculty of ,  
Mechanical Engineering VŠB – Technical University  
of Ostrava

Magister thesis describes the design of racing car's steering column. First part describes legislative issue of safety cages in light of operation of vehicles on roads and in terms of technical regulations. In the next part are described design of conception variants, simulation deformations and stress using finite element method, the materials used in design of racing car's steering column and technology of create the best variant steering column which could be used in racing car. The goal of this thesis is to create a 3D model using the CAD software, created the technical drawing of racing car's steering column technology of create bended component.

Keywords: racing car rollcage, technical regulations, the law on road traffic, welding, steering column's material, finite elements method

# Obsah

Seznam používaných výrazů a zkratk	12
1 Úvod	13
1.1 Soutěžní vůz Škoda Fabia Super 2000 Rally	13
2 Používaná konstrukční řešení	17
2.1 Civilní vozidla (produkční)	17
2.2 Závodní vozidla	19
2.2.1 MINI	20
2.2.2 Citroën	21
2.2.3 Ford	22
2.2.4 Hyundai	23
2.2.5 VW	24
3 Stanovení vstupních podmínek	25
3.1 Statický rozbor problematiky	25
3.1.1 Návrh zatížení v sériových vozech	26
3.1.2 Volba zatížení v závodním voze	26
3.2 Dynamický rozbor problematiky	27
3.2.1 Návrh zatížení v sériových vozech	27
3.2.2 Volba zatížení v závodním voze	27
4 Návrh koncepčních variant	28
4.1 Předpisy FIA	28
4.2 Požadavky na konstrukci	28
4.2.1 Ergonomie řidiče	28
4.2.2 Technické požadavky	30
4.3 Software použitý pro návrh koncepčních variant	30
4.3.1 Autodesk Mechanical	30
4.3.2 CATIA V5	30
4.4 Zástavba držáku sloupku řízení ve vozidle	32



4.4.1	Původní varianta .....	33
4.4.2	Varianta A .....	34
4.4.3	Varianta B.....	35
4.4.4	Varianta C.....	36
4.4.5	Varianta D .....	37
4.4.6	Varianta E – upravená varianta D .....	38
4.4.7	Varianta E1 .....	39
4.4.8	Varianta E2 .....	40
4.4.9	Varianta E3 .....	41
5	Vypracování konstrukčního návrhu pro optimální variantu .....	42
5.1	Materiály používané pro konstrukci ochranných rámců .....	42
5.1.1	25CrMo4.....	42
5.1.2	15CdV6.....	43
5.1.3	T45.....	43
5.1.4	AISI 4130 .....	44
5.1.5	DOCOL (obchodní označení).....	44
5.2	Určení optimální varianty konstrukčního návrhu .....	45
5.2.1	Určení kritérií .....	45
5.3	Vypracování konstrukčního návrhu optimální varianty .....	47
6	Průběh napětí a deformací.....	49
6.1	Software použitý pro výpočet namáhání metodou konečných prvků.....	49
6.1.1	Ansys WORKBENCH .....	49
6.2	Úvod do metody konečných prvků.....	49
6.3	Postup výpočtu.....	51
6.4	Výpočet namáhání MKP pro původní variantu .....	55
6.4.1	Výpočet deformací .....	55
6.4.2	Výpočet namáhání .....	56
6.5	Výpočet namáhání MKP pro variantu C.....	57

6.5.1	Výpočet deformací .....	57
6.5.2	Výpočet napětí .....	57
6.6	Výpočet namáhání MKP pro variantu D .....	59
6.6.1	Výpočet deformací .....	59
6.6.2	Výpočet napětí .....	59
6.7	Výpočet namáhání MKP pro optimalizovanou variantu E .....	60
6.7.1	Výpočet deformací .....	60
6.7.2	Výpočet napětí .....	61
6.8	Výpočet namáhání MKP pro variantu E1 .....	63
6.8.1	Výpočet deformací .....	63
6.8.2	Výpočet napětí .....	64
6.9	Výpočet namáhání MKP pro variantu E2 .....	66
6.9.1	Výpočet deformací .....	66
6.9.2	Výpočet napětí .....	67
6.10	Výpočet namáhání MKP pro variantu E3 .....	69
6.10.1	Výpočet deformací .....	69
6.10.2	Výpočet napětí .....	70
7	Numerický (analytický) výpočet namáhání .....	72
8	Technologie výroby držáku .....	76
8.1	Materiálové vlastnosti .....	76
8.1.1	Ocel – volba jakosti oceli .....	76
8.1.2	Přídavný materiál – volba dle vlastností základního materiálu .....	76
8.2	Metoda svařování MAG .....	77
8.3	Rozpis použitých dílů pro vyráběnou variantu .....	79
9	Komplexní hodnocení kvalitativních a ekonomických vlastností řešení a stanovení nejvýhodnější varianty .....	80
10	Závěr .....	83
	Seznam použitých zdrojů .....	84
	Seznam příloh na CD .....	88

Seznam příloh.....	88
--------------------	----

## Seznam používaných výrazů a zkratek

**2D** – 2 dimenze – plocha (šířka, délka)

**3D** – 3 dimenze – prostor (šířka, délka, hloubka)

**CAD** (Computer Aided Design) – počítačem podporované projektování (kreslení)

**CAM** (Computer Aided Manufacturing) – počítačová podpora obrábění

**CAE** (Computer Aided Engineering) – počítačem podporovaný inženýring zahrnující všechny systémy

**EHK** – Technické předpisy Evropské hospodářské komise

**ERC** (European Rally Championship) – Evropský pohár vozů rally, nahrazuje IRC

**ES** – technické Evropské směrnice

**FEM** (Finite Element Method) – metoda konečných prvků

**FIA** (Fédération Internationale de l'Automobile) - Mezinárodní automobilová federace

**IRC** (Intercontinental Rally Challenge) – Evropský pohár vozů rally

**Kit-Car** – stupeň úpravy produkčního vozidla

**MAG** (Metal Active Gas) – svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu tavnou elektrodou

**MKP** – metoda konečných prvků

**NSŘ** – národní sportovní řád

**S1600** – Super 1600 – kategorie vozu SUPER1600

**S2000** – Super 2000 – vozidla kategorie Super 2000

**ŠA** – ŠKODA Auto a.s.

**ŠM** – Škoda Motorsport

**VŠB – TU Ostrava** – Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

**WRC** (World Rally Car) – kategorie vozidla světového poháru rally

**max.** – maximum

**min.** – minimum

**např.** – například

**resp.** – respektive

**tzv.** – takzvaně

# 1 Úvod

Držák sloupku řízení je součást vozidla, která slouží k nesení volantu a jeho příslušenství. Zároveň držák sloupku volantu u civilních vozidel slouží jako držák palubní desky. Držák sloupku řízení je ve vozidlech od počátku jejich vývoje, protože volant bylo nutné ve vozidle zafixovat v pevné poloze.

U závodních vozidel je držák sloupku řízení samostatný celek, který nese pouze volant, případně jeho příslušenství a to z důvodu snížení hmotnosti. Držák sloupku tedy musí být dostatečně tuhý a lehký. U závodních vozidel je velmi důležitá hmotnost vozidla a pak tuhost jednotlivých celků.

Prací konstruktéra je zvolit vhodný kompromis mezi tuhostí a hmotností jednotlivých součástí. Držák sloupku řízení je u civilních vozidel tedy robustnější než u závodních. U civilních vozidel je nutné, aby držák včetně sloupku řízení splňoval technické předpisy pro homologaci vozidel.

Držák sloupku řízení u závodních vozidel je samostatně homologován v rámci karoserie. Pokud je s karoserií spojen nerozebíratelným spojením nebo samostatně, pokud je montován rozebíratelným spojením.

## 1.1 Soutěžní vůz Škoda Fabia Super 2000 Rally

ŠKODA Motorsport se svou více než 112-ti letou tradicí v současnosti disponuje svým soutěžním speciálem Škoda Fabia Super 2000 Rally. Tento vůz je pokračovatelem Škody Fabia WRC, která byla postavena pro světový šampionát v rally. Škoda Fabia Super 2000 byla ve srovnání s WRC postavena na modelové řadě Fabia II. generace. ŠKODA AUTO a.s. ve svém výrobním programu proti konkurenci nedisponuje, u tohoto vozu v sériovém provedení, třídvéřovou karoserií. Jelikož musí soutěžní vůz vycházet ze sériově vyráběného modelu, k sestavení Škody Fabie Super 2000 Rally bylo využito pětidvéřové karoserie typu hatchback. Tento fakt je možné vnímat jako mírnou hmotnostní nevýhodou proti třídvéřovým karoseriím. Převážná většina konstrukčních a vývojových prací je prováděna přímo ve vývojových dílnách továrního oddělení Škoda Motorsport. Některé komponenty vozu jsou výsledkem spolupráce mateřské firmy s jinými automobilovými firmami v České republice a ve světě.

Příkladem takové spolupráce je motor, který byl vybrán pro svůj optimální čtvercový poměr vrtání x zdvihu z Octavie II. generace, konkrétně z typu 2,0 FSI 110 [kW], ze sériové produkce. Ten byl pro soutěžní účely, ve spolupráci s francouzskou motorářskou firmou ORECA, přepracován. Velkou výhodou tohoto motoru je blok motoru odlitý z hliníkové slitiny, který představuje značnou úsporu hmotnosti proti litinovým blokům motorů. V soutěžní verzi má tento zážehový atmosférický šestnáctiventilový čtyřválec výkon 205 [kW] a točivý moment 253 [Nm].

Další komponenty vozu jsou nakoupeny od společností zaměřených na sportovní vybavení, případně patřící mezi nejlepší ve svém oboru. Elektronika vozu je dodávána italskou společností Magneti Marelli. Na základě vynikajících předchozích zkušeností s převodovým ústrojím pro pohon 4x4 od společnosti Xtrac. Jedná se o příčně uloženou šestistupňovou převodovku, jejíž součástí je i přední diferenciál. Tento diferenciál pak rozvádí výkon od motoru k předním a zadním kolům v poměru 50:50. Hmotnost lze ovlivnit zvolenými specifikacemi. Zadní diferenciál pochází od stejného dodavatele a vyznačuje se hliníkovou skříní (tedy nízkou hmotností), nízkými náklady a zároveň je technicky spolehlivý. Při sestavování vozu byl kladen velký důraz na podvozek, u kterého se při jeho návrhu, vycházelo z předepsaného zavěšení MacPherson. Při jeho konstrukci společnost spolupracovala s německým výrobcem Heggemann. Tlumiče byly dodány holandskou společností Reiger a brzdy společností Brembo. Přední brzdy pro asfaltovou specifikaci mají průměr 355 [mm] a pro šotolinovou specifikaci 300 [mm]. Oproti tomu mají zadní brzdy pro obě specifikace stejný průměr 300 [mm]. Na šotolině používá vůz patnáctipalcové a na asfaltu osmnáctipalcové disky.

Kokpit vozu je vybaven ochranným rámem splňujícím požadavky FIA na bezpečnost, skořepinovými sedačkami pro posádku s bezpečnostními šestibodovými pásy, volantem, na němž lze nalézt ovládací tlačítka pro stěrače, startovací tlačítko a další prvky výbavy vozu. Vpravo od volantu je umístěna řadící páka sekvenční převodovky a ruční brzda. Samozřejmostí jsou rovněž pedály, které je možné posouvat nezávisle na sedačce podle individuální potřeby pilota. V zorném poli pilota se nachází pouze displej ukazující momentálně zařazený převodový stupeň. Více ovládacích prvků má ve svém dosahu spolujezdec, který ovládá veškeré elektrické zařízení. Na středovém tunelu mezi jezdce a spolujezdce se nachází středový panel, kde může spolujezdec ovládat startér, všechna světla, ventilátor interiéru a další zařízení. Zde se ovládá také informační displej spolujezdce, kde se zobrazují důležité technické informace

o voze. Další výbavou vozu je také, kromě povinné výbavy, rezervní kolo, hasicí přístroje a nářadí pro možné opravy mimo servisní zónu, aby se tak předešlo případnému odstoupení ze soutěže. [2], [3]

Rozměry soutěžního vozu jsou:

- Délka – 4 000 [mm]
- Šířka – 1 820 [mm]
- Rozvor – 2 486 [mm]
- Hmotnost – 1 200 [kg]



*Obr. 1 – Vůz Škoda Fabia Super 2000 [2]*

První testovací kilometry odjela Škoda Fabia Super 2000 Rally na přelomu ledna a února 2008. Mezi testovacími piloty byli mimo jiných Jan Kopecký, Raimund Baumschlager a také legenda rally Carlos Sainz. První závodní kilometry absolvoval vůz v roli předjezdce na Barum Czech Rally Zlín a následně v San Remu. Mezinárodní homologaci vůz obdržel v roce 2009. Závodní premiéry se vůz zúčastnil při Rally Monte Carlo v témže roce, která byla součástí IRC. V současné době je vůz považován za jeden z nejlepších vozů kategorie Super 2000. To dokazují skvělé výsledky v různých národních a mezinárodních šampionátech. V roce 2012 se tento vůz stal vítězem v šampionátech IRC, v Evropském šampionátu a v Asijsko Pacifickém mistrovství, dále také v několika národních šampionátech, ať už v České republice, Německu, Rakousku nebo v dalších zemích. Těchto úspěchů dosahovaly jak tovární posádky týmu ŠKODA Motorsport, tak i soukromé týmy,

které mají přímou nebo nepřímou spolupráci s továrním týmem. Některé týmy si pronajímají soutěžní vozy továrního týmu ŠKODA Motorsport nebo si vůz zakoupí.

Vzhledem technickému rozvoji vozu je možné produkovat řadu variant a úprav konstrukčních celků jakým je například držák sloupku řízení, s ohledem na ergonomii pilota a těžiště vozu. Úpravami, které je možné provádět, jsou změna materiálu, tloušťky trubek, změna konstrukce a podobně.

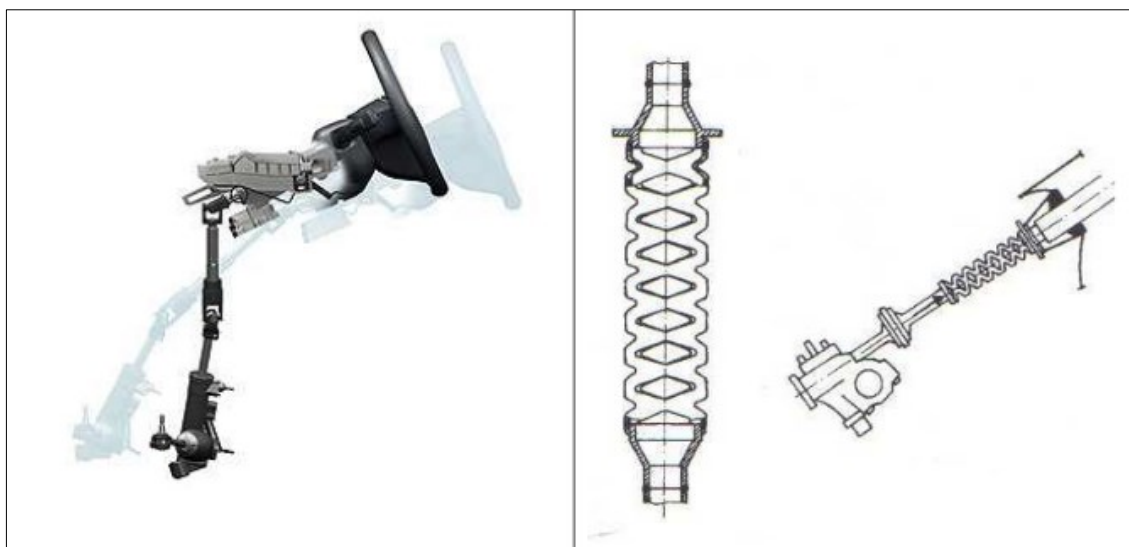


## **2 Používaná konstrukční řešení**

Použité konstrukční řešení sloupku řízení se dělí především podle použití na konstrukci sloupku řízení pro civilní vozidla a pro závodní vozidla.

### **2.1 Civilní vozidla (produkční)**

Konstrukce sloupku řízení u civilních vozidel podléhá především předpisům EHK a ES. U civilních vozidel slouží sloupek řízení také jako držák – kotevní bod – pro palubní desku. Jsou na něj tedy kladeny jiné nároky a požadavky, než u závodních vozidel. Držák sloupku řízení je prvkem pasivní bezpečnosti. Podle předpisů je nutné, aby se sloupek řízení, při čelním nárazu, deformoval směrem dolů, z důvodu nárazu části těla řidiče do volantů. Pokud by se sloupek nedeformoval předepsaným směrem, mohlo by dojít k vážnějším zraněním řidiče, či jeho smrti. Sloupek řízení je tedy řešen jako posuvný mechanismus, ve kterém je upevněn válec z perforovaného plechu (trubky). V této trubce je pak na ložiscích uložena kloubová hřídel. Válec z perforovaného plechu je nejdůležitějším deformačním členem a spolu s posuvným mechanismem umožňuje pohyb volantu od posádky a dolů. Konstrukční provedení válce se liší, může být z perforovaného plechu, z frézované odlehčené trubky apod. Mechanismus řízení je vidět na Obr. 2. Posuvný mechanismus zajišťuje problematiku změny úhlu volantu pro individuální nastavení pozice volantu, s ohledem na tělesné dispoziční řidiče. Příklad konstrukčního provedení držáku sloupku řízení u civilních vozidel je vidět na Obr. 3 níže.



*Obr. 2 – Bezpečnostní uchycení sloupku řízení, vlevo – kloubové hřídele a posuvný mechanismus před a po nárazu, vpravo – konstrukce deformačního válce z perforovaného plechu [4]*



*Obr. 3 – Držák + sloupek řízení Škoda Octavia III. generace [Autor]*

## **2.2 Závodní vozidla**

Závodní vozidla jsou speciální kategorií vozidel, u kterých jsou povoleny změny v konstrukci oproti běžným civilním vozidlům, dle daných předpisů. Úpravy držáku sloupku řízení podléhají NSŘ FIA. Z těch vyplývá, že konstrukce musí být schopna pracovat i v poruše, tedy po nárazu. Bezpečnost řidiče je především zajištěna konstrukcí ochranného rámu, kterým je vozidlo vybaveno a také 6-ti bodovými bezpečnostními pásy s anatomicky tvarovanou skořepinovou sedačkou. Odpadá tedy požadavek, že se musí volant zasunout směrem dolů a od řidiče, tak jako je tomu u sériových vozidel. Bezpečnost řidiče z pohledu držáku sloupku řízení je pro mě zanedbatelná a nebudu se jí tedy dále zabývat.

V kapitole bude uvedeno několik továrních výrobců závodních vozidel a jejich konstrukce sloupku řízení.

### 2.2.1 MINI

Mini je anglická značka, vyrábějící vozidla v Oxfordu ve Velké Británii, pod vedením BMW Group. Vývoj vozů probíhá ve Velké Británii.

Na Obr. 4 je vidět konstrukce sloupku řízení. Sloupek se skládá z domečku pro uložení ložiskového domku. Ten je uchycen pomocí šroubového spoje asymetricky, tedy pouze z jedné (levé) strany ložiskového domku. Domek sloupku je pomocí tří vzpěr uchycen k ochrannému rámu. Dvě levé vzpěry jsou přivařeny k bočnímu ochrannému oblouku a pravá horní vzpěra je pravděpodobně přivařena k přední křížové vzpěře tlumičů. Pohled na sloupek řízení z odvrácené strany, než je na Obr. 4, je zobrazen v Příloze A.



*Obr. 4 – Interiér vozu MINI S2000 [5]*



### 2.2.2 Citroën

Citroën je francouzský výrobce vozidel. Tovární tým Citroën sport se již od osmdesátých let účastní soutěží mistrovství světa v rally. Ve WRC je Citroën dominantní značkou, především díky jezdeckému umu Sebastiena Loeba, ale i díky technice.

Sloupek řízení se skládá ze dvou částí. První částí je pevná ocelová konzola, která je pravděpodobně připevněna ke křížové výztuze tlumičů buď pomocí šroubového spoje, nebo pomocí svaru. V konzole je drážka pro uchycení druhé části sloupku řízení. Drážka dovoluje vychýlit volant ve svislé ose a tak vytvořit lepší ergonomii pro různé jezdce. Druhou částí tohoto řešení je karbonový domek, ve kterém je uložena otočně tyč řízení. Ve své horní části má otvor pro šroub, sloužící ke spojení kovové konzoly a držáku tyče řízení. Vzhledem k použití karbonu, lze u tohoto řešení očekávat snížení tuhosti oproti použití oceli.



*Obr. 5 – Interiér vozu Citroën C4 WRC [6]*

### 2.2.3 Ford

Ford je americký výrobce vozidel z Detroitu. Dal základy sériového vyrábění vozů. Značka se účastnila soutěže World Rally Championship. Ford je jedna z prvních značek vozů, které se začaly vyrábět.

U Fordu je sloupek řízení řešen jako ocelový a je přivařen k ochrannému rámu. Skládá se ze dvou vzpěr – trubek a z domku pro ložisko volantu. Vzpěry jsou vzájemně pevně spojeny s trubkou v jeden kus. Domek je pravděpodobně pohyblivý v předem určeném rozsahu drážky, která je v něm vyfrézovaná. Ve vzpěrách, přesněji v jejich horních částech, je místo pro šrouby, které je spojují s domkem v jeden celek. Sloupek řízení je asymetrický. Lze tedy očekávat nižší tuhost než u symetrického řešení a především nižší hmotnost.



*Obr. 6 – Interiér vozu Ford Fiesta RS WRC 2011 [7]*



#### 2.2.4 Hyundai

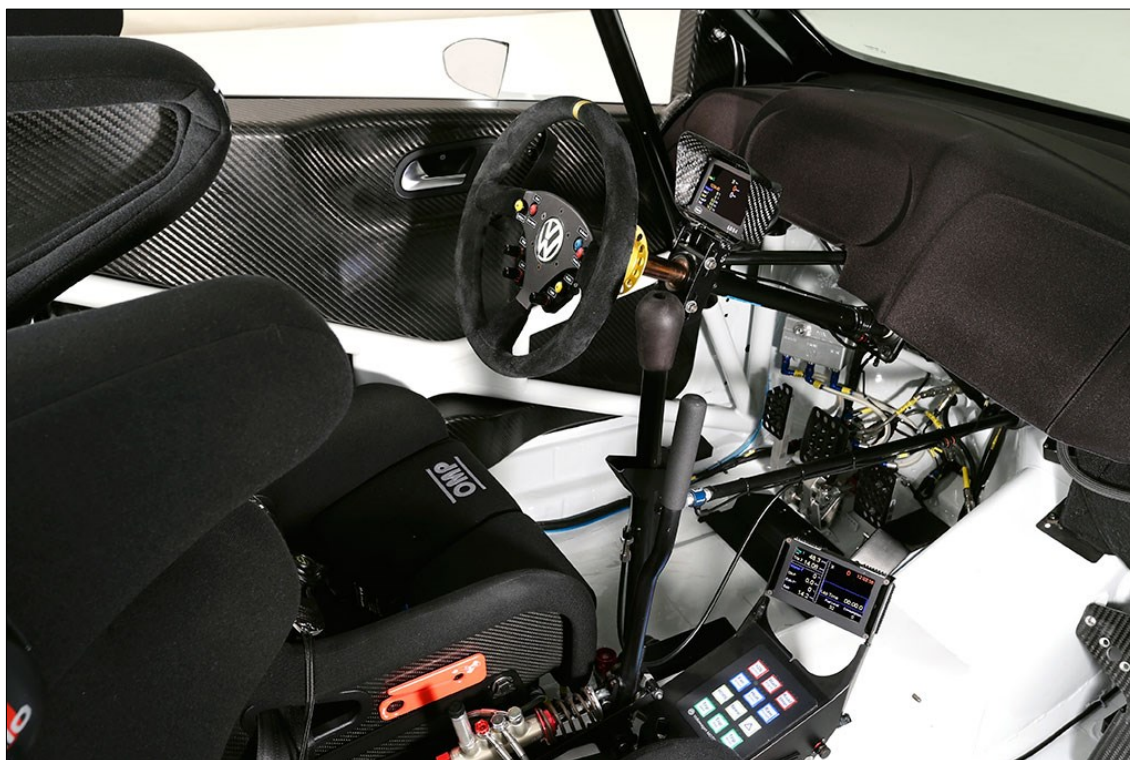
U vozu i20 je sloupek pravděpodobně ocelový, přivařený k ochranné konstrukci obdobně jako u předchozích výrobců. Držák domku volantu (na Obr. 7 černě) je uchycen pomocí šroubového spoje v sloupku řízení (na obrázku bíle/šedě). V domku je pravděpodobně uloženo ložisko, ve kterém se volantová tyč otáčí. V konzole sloupku řízení je vyfrézovaná drážka, která umožňuje naklápět volant do vhodnější polohy pro jezdce. Konzola je pravděpodobně složena z ohnutého plechu, který má ve své horní části vyvrtány odlehčovací otvory a ve svých bočních stranách je přivařena ke vzpěrám, které jsou přivařeny k ochrannému rámu.



*Obr. 7 – Hyundai i20 WRC [8]*

### 2.2.5 VW

Zde je držák sloupku volantu konstrukčně proveden podobně jako u vozu ŠKODA Fabia S2000. Je to pravděpodobně z důvodu koncernové spolupráce mezi oběma značkami resp. jejich civilními technickými vývoji. VW dokázalo využít domek volantu pro monitor palubní desky, přičemž odpadla konstrukce držáku v samotné palubní desce.



*Obr. 8 – Interiér vozu VW Polo WRC [9]*



### 3 Stanovení vstupních podmínek

#### 3.1 Statický rozbor problematiky

Požadavky na řízení a tedy ovládací síly na volant stanovuje předpis EHK č. 79 a to tak, že řízení musí plnit především:

- Snadné a bezproblémové ovládání vozidla až do jeho nejvyšší konstrukční rychlosti.
- Musí být možné jet s vozidlem na přímém úseku silnice nejvyšší konstrukční rychlostí vozidla bez neobvyklých korektur řízení řidičem a bez neobvyklých vibrací v systému řízení.
- Časová synchronizace + synchronizace pohybu mezi ovládáním řízení a řízenými koly
- Odolnost proti namáhání způsobenému provozem vozidla
- Jakákoliv porucha v převodu, jiná než čistě mechanická, musí zřetelně upoutat pozornost řidiče.
- Zastaví-li se motor nebo část systému řízení selže, systém řízení musí splňovat kritéria viz. Tabulka 1.

Tabulka 1 – Parametry zatížení volantu dle EHK č.79 [10]

Jízda ve spirále 10 [km·h <sup>-1</sup> ]			Jízda ve spirále 10 [km·h <sup>-1</sup> ]		
Řízení bez poruchy			Řízení s poruchou		
Max. síla na volant [N]	Čas [s]	Rádus otáčení [m]	Max. síla na volant [N]	Čas [s]	Rádus otáčení [m]
150	4	12	300	4	20

Dále musí být vůz schopen vyjet z oblouku o poloměru 50 [m] tečně při rychlosti 50 [km·h<sup>-1</sup>] bez vibrací v řízení. Při poruše posilovače řízení musí být možno vozidlo ovládat bez abnormálních korektur řízení. Toto se ověřuje jízdou po kružnici o poloměru 100 [m] a rychlostí 80 [km·h<sup>-1</sup>] jízdou ve směru a proti směru hodinových ručiček. [10]

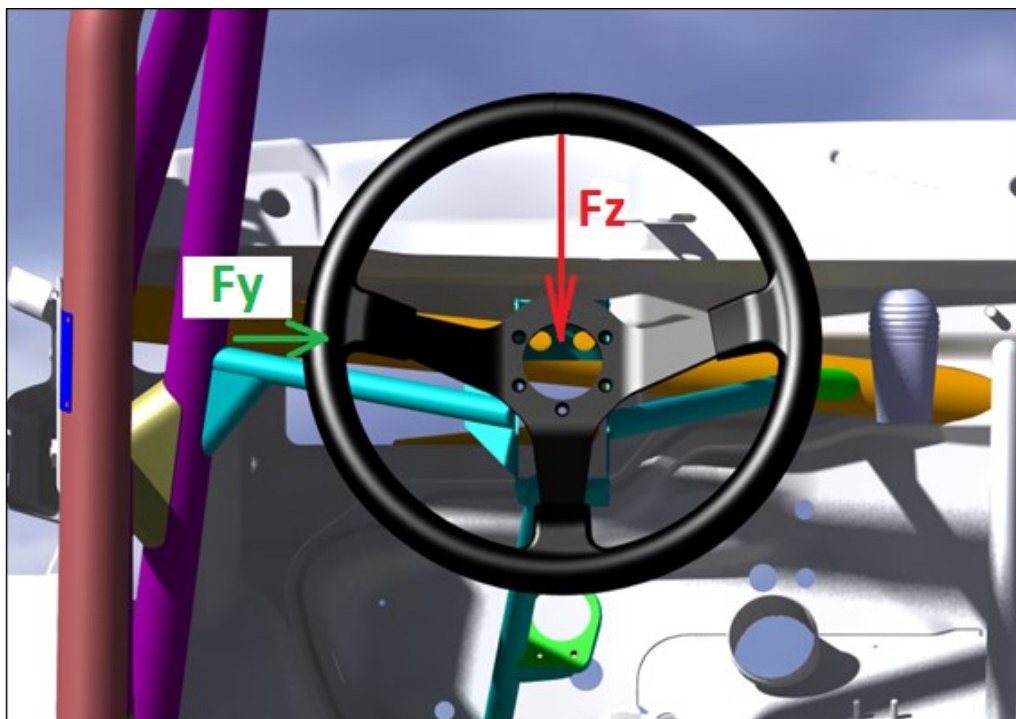
### 3.1.1 Návrh zatížení v sériových vozech

Držák sloupku řízení se v sériových vozidlech navrhuje na situaci, kdy se řidič snaží povstat a přitáhne se o volant. Zatěžující sílu je možné rozložit do vodorovné a svislé složky, kde vodorovná složka je zachycena horní vzpěrou a svislá složka síly se rozkládá z 50 [%] do upevňovací konzoly u řidiče a z 50 [%] do tunelové vzpěry u řidiče.

Držák sloupku řízení je namáhán ohybovým momentem, proto by měl tedy být masivní a trojúhelníkového tvaru. Spodní vzpěra sloupku řízení by měla být taky velice pevná, vzhledem k pohybu sloupku při nárazu směrem dolů.

### 3.1.2 Volba zatížení v závodním voze

Zatížení držáku sloupku řízení pro závodní vozy není dané žádným předpisem ani směrnici. Vždy se vychází ze zkušenosti s ohledem na tuhost, hmotnost a bezpečnost. Navrhují zatížit držák sloupku řízení silami  $F_Y = 60$  [N] v horizontální rovině a  $F_Z = 600$  [N] v rovině volantu dle schématu na Obr. 9. Síla  $F_C$  představuje dynamický ráz, vzniklý při dopadu vozidla po skoku. Síla  $F_Y$  představuje opření řidiče o volant při nastupování nebo vystupování z vozidla.



Obr. 9 – Schéma zatížení držáku [Autor]

## **3.2 Dynamický rozbor problematiky**

### **3.2.1 Návrh zatížení v sériových vozech**

Jedná se především o vibrace. Z pohledu člověka je vhodná frekvence sloupku řízení mezi 30 – 40 [Hz]. Z tohoto důvodu je nutné izolovat držák sloupku řízení od budících kmitů motoru, které se blíží vlastní frekvenci kmitání držáku sloupku řízení. Pod 30 [Hz] tuto frekvenci člověk vnímá jako tlučení a nad 40 [Hz] jako mravenčení. Kmitání sloupku řízení je superpozicí kmitání vybuzených jednotlivými částmi vozu, jakými jsou motor (30 [Hz]), podvozek (15-17 [Hz]) apod.

Měření vibrací se provádí buzením kladívkem na volant v místech dle příslušné normy a provádí jej výrobce. Zkoušky kmitání se provádí na začátku vývoje – na platformovém dílu. Pro výsledné kmitání sloupku řízení je důležitá tuhost nosiče v oblasti připojení a žebrování.

### **3.2.2 Volba zatížení v závodním voze**

Hranice dynamického zatížení v držáku sloupku řízení v závodním vozidle není dané žádnou směrnicí ani technickým předpisem. Vždy se vychází ze zkušeností s ohledem na bezpečnost, tuhost a hmotnost. Navrhují dále se nezabývat dynamickým zatížením držáku sloupku řízení. Předpokládám, že pokud bude výsledná konstrukce podobná z hlediska pevnosti a tuhosti pak bude splňovat nároky bezpečnosti jako již dříve vyzkoušená konstrukce. Pak dále předpokládám, že pokud bude konstrukční řešení obdobné jako původní, průběhy zatěžujících sil budou podobné. V této práci se nebudu zabývat konstrukcí z hlediska vlastních frekvencí kmitání a z pohledu její vlastní setrvačnosti.

## **4 Návrh koncepčních variant**

### **4.1 Předpisy FIA**

Předpisy mezinárodní automobilové federace stanovují FIA, z jakých materiálů a jaké konstrukce mohou držáky sloupků řízení být. Především mohou být ocelové nebo z kompozitových materiálů, jako jsou uhlíkové materiály. To je vždy dáno předpisem pro rally vozy a pro danou třídu nebo skupinu vozu. Mohou taktéž být pevně přivařeny k rámu metodou MAG (tedy ocelový držák sloupku a svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu CO<sub>2</sub>) nebo přišroubované k rámu (častěji používané pro držáky z kompozitových materiálů). Dále předpis stanovuje, že mechanismu řízení a jeho části musí být ocelové. Tedy volantová tyč, ložiska, klouby, převodka řízení, spojovací tyče, páky řízení a čepy. [11]

### **4.2 Požadavky na konstrukci**

#### **4.2.1 Ergonomie řidiče**

Optimálně navržený vnitřní prostor pro posádku zaručuje vysokou bezpečnost. Z tohoto důvodu jsou při konstrukci interiéru kladeny velké nároky na všechny ovladače a indikátory, které musí posádka obsluhovat a také na pozici posádky vzhledem k pedálové soustavě a soustavě volantu, řazení a ruční brzdě. Důležitá jsou i ergonomická závodní sedadla a 6-ti bodové pásy, které zvyšují bezpečnost řidiče a spolujezdce. Poloha řidiče hraje důležitou roli i v celodenním sezení v závodním vozidle. [12]

Sezení v závodní sedačce (obecně v autosedačce) je rozdílné, oproti sezení na židli u stolu. Ruce řidiče jsou výše než u sezení u stolu, protože řidič obsluhuje volant, řadicí páku a páku ruční brzdy. Také nohy zaujímají jinou polohu, to vyplývá z jejich obsluhování spojkového, brzdového a akceleračního pedálu. Navíc, těla posádky absorbují vertikální vibrace způsobené pohybem vozidla na nerovném povrchu (šotolina) nebo hrbolaté silnici a také se pohybují do stran (průjezd zatáčkou případně i řízeným smykem). Vnímají i zrychlení nebo zpomalení vozidla resp. přetížení.

Při špatné ergonomii sezení se mohou objevovat bolesti zad, tzv. zranění z opakované jízdy (ve Velké Británii označované jako RDI – Repetitive Driving Injury). To zahrnuje ztuhlý krk a ramena, bolesti bederní páteře, křeče nohou,

bolest ze špatného držení těla, stress, napětí a dlouhé setrvání v jedné poloze a z toho vyplývající nedostatečné soustředění na závod a řízení vozidla. Nejčastějšími příčinami bolestí jsou špatné držení těla, způsobené nevhodně seřízeným sedadlem (poloha vzhledem k ovládacím členům), nízkofrekvenční vibrace, které se přenáší od podvozku vozidla do těla a mohou namáhat bederní část zad, tvar sedadla, vyvíjející tlak na některé části hýždí, zad a nohou. Tento tlak může vést k nepříjemným pocitům nebo k bolestem v místech dotyku a mít vliv na průtok krve do nohou a chodidel.

Z těchto aspektů vyplývají tedy nároky na cestovní komfort posádky vozidla. Interiér by měl být seřiditelný tak, aby různí řidiči (především závodního týmu, ale i případní soukromí zákazníci, kteří si vozidlo mohou zakoupit) mohli dosáhnout na pedály a ovladače, na volant bez nadměrného natahování paží, aby především řidič by měl sedět dostatečně vysoko a vidět dobře z vozidla a do zrcátek a mít dostatek prostoru. Prostor je v závodním vozidle oproti sériovému odlišný a především odlišně využitý příslušenstvím.

Bezpečnostní pásy jsou navrženy jako 6-ti bodové, tedy dva popruhy přes ramena, dva popruhy přes bederní/kyčelní oblast a dva popruhy mezi nohama. Pásy slouží k pevné fixaci těla posádky v ergonomické závodní sedačce a tím ke zvýšení bezpečnosti v případě havárie vozidla. Tělo je tedy prakticky, až na údy, pevně spojeno s vozidlem oproti sériovým vozidlům. Závodní vozidla nemají airbagy, takže je to ve své podstatě jediný bezpečnostní prvek posádky. Pevnou fixací je omezena pohyblivost posádky v sedačkách a v interiéru závodního vozidla během jízdy, ať už na přejezdech mezi rychlostními zkouškami (po běžných pozemních komunikacích za platnosti zákona o provozu na pozemních komunikacích) nebo na samotných rychlostních zkouškách, v závodním režimu vozidla rally.

Z těchto důvodů je tedy navrhovaný držák koncipován tak, aby bylo možné sloupek řízení s volantem zvýšit nebo snížit, v závislosti na individuální potřebě řidiče. V závodních automobilech rally jezdí především řidiči do 170 [cm], ovšem existují i výjimky, jako je např. Jan Kopecký, který měří 190 [cm]. Celkově je posádka závodního vozu směřována dozadu/středu vozidla s ohledem na nejvhodnější polohu těžiště – tedy co nejnižší a co nejbližší středu vozidla jak v podélné, tak v příčné ose. Posuv volantu se řeší pomocí distančních podložek, umístěných mezi sloupkem řízení a volantem. [13], [14]

#### 4.2.2 Technické požadavky

- **Zachovat minimální možnou hmotnost**
- **Zachovat maximální možnou tuhost**
- **Svařovat metodou MAG**
- **Použít materiál držáku legovanou ocel např.: 25CrMo4, 15CdV6, T45, 4130, DOCOL, včetně doporučené volby přídatného materiálu k danému základnímu kovu**

### 4.3 Software použitý pro návrh koncepčních variant

#### 4.3.1 Autodesk Mechanical

Program AutoCAD Mechanical slouží především k 2D kreslení. Jedná se o zřejmě nejznámější a nepoužívanější program ve strojírenské praxi obecně, od firmy Autodesk. Jeho modifikace je možné vidět i v jiných odvětvích například ve stavebnictví a elektrotechnice (např. ArchiCAD). V programu je možné vytvářet i 3D modely na základě 2D výkresů, ovšem vyžaduje to zkušenosti konstruktéra a dlouholetou praxi. Program má jednoduché prostředí, intuitivní ovládání, české menu. S AutoCADem mám zkušenosti již ze střední školy, tedy jsem schopen zpracovávat jak výrobní výkresy, tak sestavné výkresy. Výhodou programu je volnost prostoru a nástroje, které používá. Nevýhodou programu oproti programu Catia V5, že nevidíme okamžitě 3D model z nákresu, který jsme vytvořili. Je nutná prostorová představivost konstruktéra, který si dokáže danou součást představit na základě nákresu v programu. [15]

#### 4.3.2 CATIA V5

Jde o software francouzské firmy Dassault Systèmes (anglicky Computer Aided Three-dimensional Interactive Application). V současné době se jedná o nejpoužívanější CAD/CAM/CAE systém v automobilovém a leteckém průmyslu na světě. V automobilovém průmyslu např. BMW, ŠKODA, VW, v leteckém pak například Boeing. Dále je možné jej použít pro návrh spotřebního zboží a elektroniky, strojírenství obecně, v energetickém a lodním průmyslu. Catia poskytuje komplexní nástroje pro mnoho oborů, jako například automobilový průmysl, letecký průmysl, spotřební zboží a jiné. Dále umožňuje i práci více konstruktérů v jednom

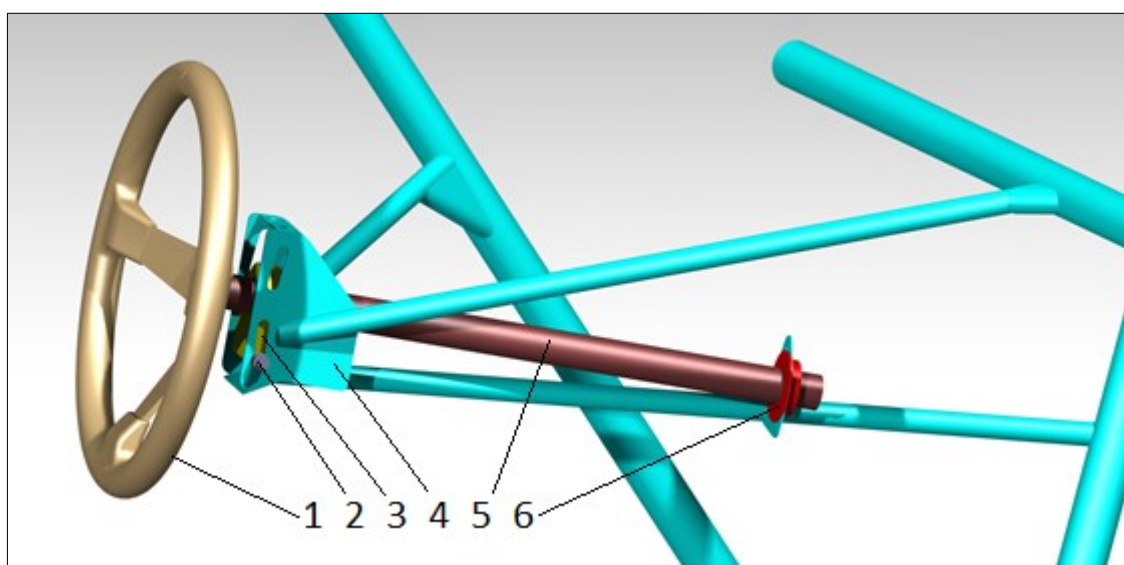
projektu, přičemž okamžitě promítá provedené změny do ostatních částí projektu. Systém umožňuje také parametrizaci navrhovaných dílů a přináší tak konstruktérům volnost při návrhu a jistotu správného výsledku. Dále je podpořena spolupráce s ostatními softwary pomocí převodníků IGES, STEP a podobně. Catia je rozdělena do třech platforem P1, P2 a P3. Platforma P1 slouží k modelování pro malé a střední zákazníky. Je to „řešení na míru“ oproti P2. Platforma P2 je plně sestavený produkt se standartním 3D modelovacím prostředím, generováním výkresů, s převodníkem IGES pro komunikaci s ostatními CAD systémy a mnoho dalších nástrojů. Platforma P3 je nejvyšší úroveň programu, který vyžaduje speciální objektový manažer COM/3 a je určen pro největší zákazníky z automobilového průmyslu. [16]

#### 4.4 Zástavba držáku sloupku řízení ve vozidle

Při navrhování držáku sloupku volantu jsem chtěl zachovat původní body uchycení k těm částem vozu, kde jsou již v původní variantě držáku, nebo se jim maximálně přiblížit. Uchycení je tedy provedeno ke stejným výztuhám a vzpěrám jako je u původní varianty. Tato skutečnost souvisí s již ověřeným chováním držáku připevněným v těchto místech k ochrannému rámu závodního vozidla.

Tvar držáku jsem volil s ohledem na geometrii volantu, kterou jsem zachoval. To se týká i rozsahu pohybu volantu v rámci posuvu sloupku řízení pro různě velké jezdce a jejich pozici v interiéru vozidla.

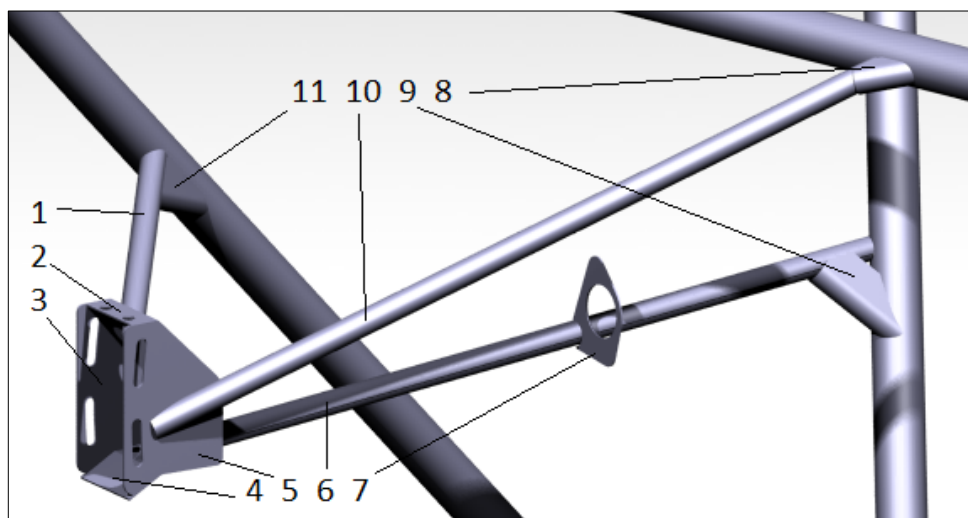
Dále je sloupek řízení zastavěn, jak je vidět na Obr. 10, společně s mechanismem řízení. Ten se skládá z volantu, ložiska volantu, volantové tyče a vodícího ložiska. Pro návrh konstrukce držáku je to vstupní omezení, které musí být zahrnuto v návrhu držáku sloupku řízení. Držák sloupku řízení navrhuji pro tento mechanismus řízení a není mým cílem jej modifikovat.



*Obr. 10 – Zástavba mechanismu řízení, 1 – volant, 2 – upevňovací šroub, 3 – domek volantu, 4 – držák sloupku řízení, 5 – volantová tyč, 6 – teflonové ložisko [Autor]*



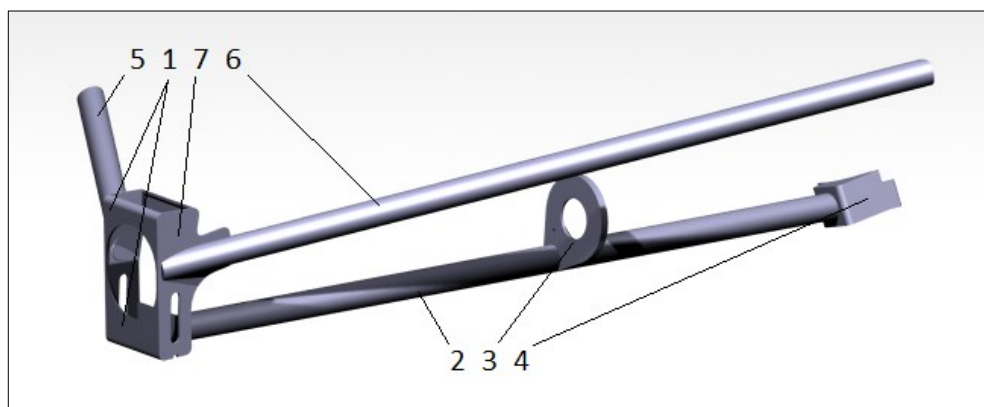
#### 4.4.1 Původní varianta



*Obr. 11 – Původní varianta držáku sloupku řízení Škoda Fabia S2000 rally,  
1 – levá vzpěra, 2 – horní výztuha, 3 – levá strana domku řízení,  
4 – dolní výztuha, 5 – pravá strana domku řízení, 6 – spodní vzpěra,  
7 – domek ložiska, 8,9 – rohová výztuha, 10 – pravá vzpěra,  
11 – rohová výztuha [Autor]*

Původní varianta držáku sloupku řízení, zastavěná ve vozidle Škoda Fabia Super 2000 Rally, je zobrazena na Obr. 11. V konstrukci jsou obsaženy trubky  $\varnothing 20 \times 1$  [mm], které tvoří levou vzpěru, spodní vzpěru a pravou vzpěru držáku. Na spodní vzpěře držáku sloupku řízení je přivařen domek ložiska z plechu tloušťky 1,5 [mm] s výztuhou. Domek držáku je tvořen levou a pravou stranou domku. Do těchto stran je v každé přivařena vzpěra. Na levé stěně domku je přivařena levá vzpěra, na pravé straně je pak přivařena pravá vzpěra. Mezi oběma stranami domku jsou umístěna žebra s odlehčovacími otvory shodné tloušťky, jako jsou stěny domku. Tloušťka plechu použitého pro domek držáku je 2 [mm]. Ke spodnímu žebru domku je přivařena spodní vzpěra držáku tak, že část žebra je vsunuto do trubky a poté zavařeno, kvůli zlepšení technologie spoje, včetně uzavření profilu trubky plechem. Každá vzpěra je vyztužena rohovou výztuhou ve tvaru „U“. Levá vzpěra je přivařena k výztuze předního půloblouku ochranného rámu. Pravá vzpěra je přivařena k výztuze předních půloblouků ochranného rámu, k ní je přivařen ložiskový domek. Spodní vzpěra je přivařena k přední výztuze zavěšení ochranného rámu a prochází motorovou stěnou, do které je nutné vytvořit výřez na procházející trubku. Celková hmotnost původní varianty je 1,284 [kg].

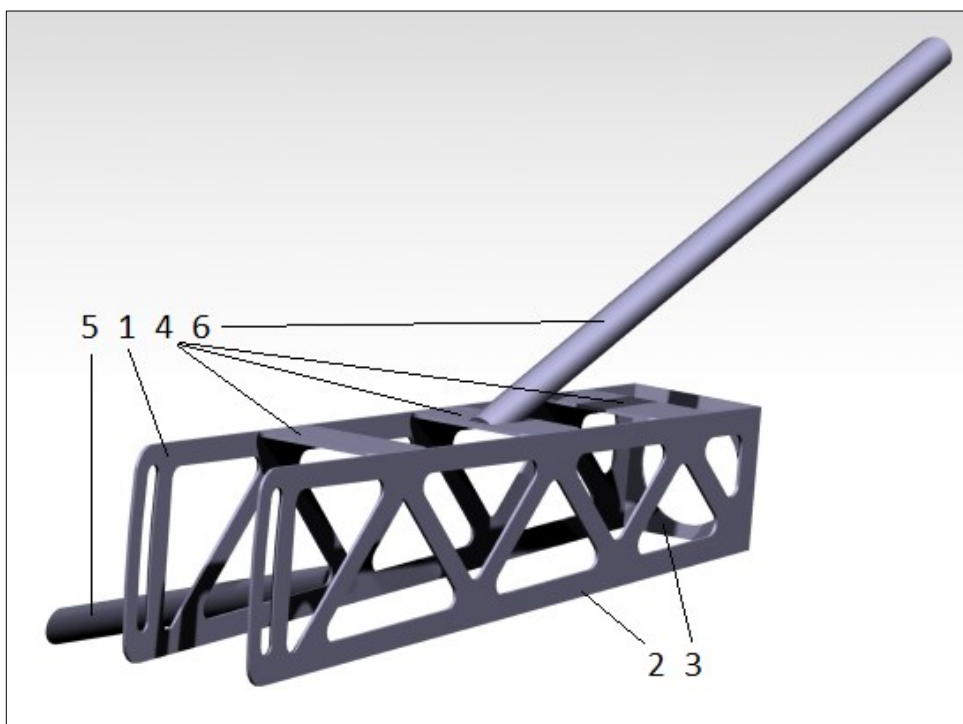
#### 4.4.2 Varianta A



*Obr. 12 – Varianta A, 1 – kruhové výztuhy, 2 – spodní vzpěra, 3 – ložiskový domek, 4 – kotvící výztuha, 5 – levá vzpěra, 6 – pravá vzpěra, 7 – domek volantu [Autor]*

První variantou, kterou jsem vytvořil upravením původní varianty, je varianta označená jako A. Od původní varianty se liší vypuštěním některých plechových výztuh. Konkrétně jde o výztuhy horní části domku držáku a ve dnu domku. Přidal jsem kruhové výztuhy na přední stranu domku. Uchycení přivařením spodní vzpěry, sloužící mimo jiné k držení kulového ložiska je provedeno přes výztuhu z plechu 1,5 [mm]. Výztuha je spojena s motorovou stěnou svařováním. Trubky použité na konstrukci jsou pro levou vzpěru  $\varnothing 20 \times 1$  [mm], pro pravou vzpěru  $\varnothing 22 \times 1$  [mm] a pro spodní vzpěru  $\varnothing 20 \times 1$  [mm]. Plech použitý na domek ložiska a domek volantu je o tloušťce 2 [mm]. Levá vzpěra je přivařena na výztuhu předního půloblouku. Pravá vzpěra je přivařena na příčnou vzpěru předních půloblouků. V držáku jsou vytvořeny drážky pro umožnění polohování volantu. Celková hmotnost držáku je 1,033 [kg].

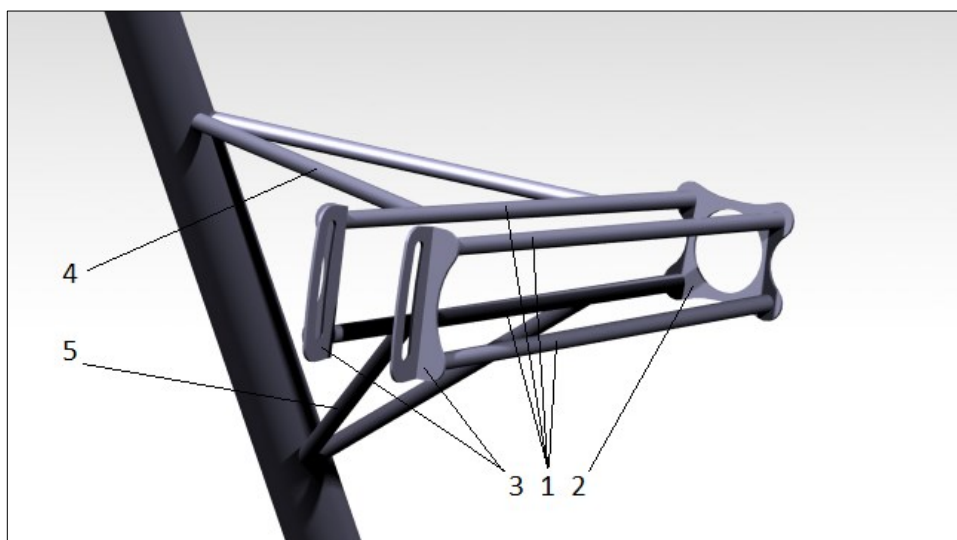
#### 4.4.3 Varianta B



*Obr. 13 – Varianta B, 1 – levá strana, 2 – pravá strana,  
3 – ložiskový domek, 4 – žebra, 5 – levá vzpěra,  
6 – horní vzpěra [Autor]*

Varianta B vychází z úvahy, zajistit spojení domku volantu s ložiskovým domkem a poté toto spojení připojit k ochrannému rámu. Výsledkem je levá a pravá strana z vypáleného plechu o tloušťce 2 [mm] s odlehčením, pro minimální hmotnost a dostatečnou tuhost. Mezi levou a pravou stranou je vytvořen domek pro kulové ložisko opět plechem tloušťky 2 [mm]. Dále mezi levou a pravou stranou jsou vytvořeny 3 plechová žebra o tloušťce 2 [mm]. Levá vzpěra je tvořena trubkou  $\varnothing 16 \times 2$  [mm] a je připevněna svařováním k výztuze předního půloblouku. Výztuha je k levé straně držáku přivařena do místa, kde je nejvíce materiálu. Horní vzpěra je tvořena trubkou  $\varnothing 14 \times 2$  [mm] a je připevněna svařováním k výztuze předních půloblouků. Na druhé straně je připevněna ke střednímu žebří držáku. V držáku jsou vytvořeny drážky pro umožnění polohování volantu. Celková hmotnost držáku je 0,771 [kg].

#### 4.4.4 Varianta C

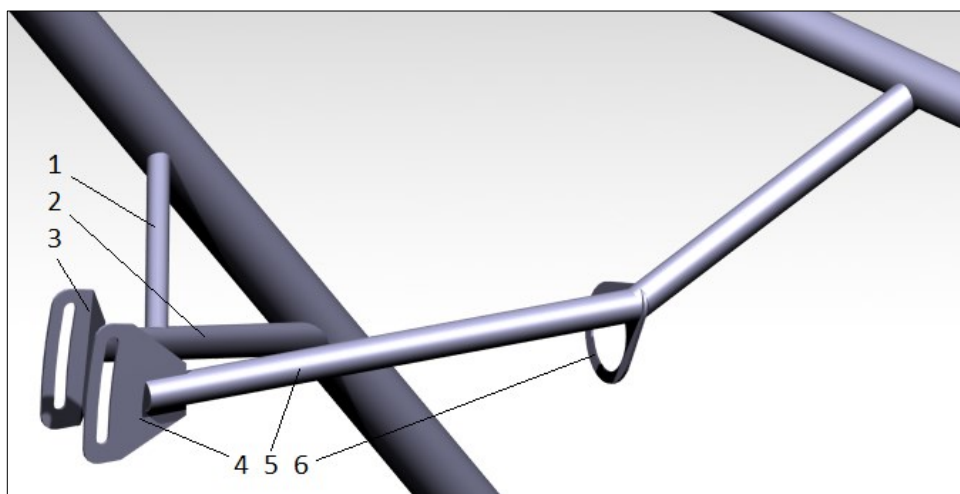


*Obr. 14 – Varianta C, 1 – trubky držáku, 2 – ložiskový domek, 3 – plechy domku volantu, 4 – horní trojúhelníkové rameno, 5 – dolní trojúhelníkové rameno [Autor]*

Myšlenka varianty C je podobná jako u varianty B s tím, že zde byla ještě možnost zkrátit délky použitých výztuh na minimum. Výsledek je tedy takový, že jde o trubkový držák tvořený trubkami  $\varnothing 10 \times 2$  [mm] a plechy o tloušťce 2 [mm] pro uložení šroubu a ložiskový domek. Domek ložiska je vytvořen s ohledem na minimální hmotnost. V držáku jsou vytvořeny drážky pro umožnění polohování volantu drážkami v pleších ve tvaru L. V těchto pleších jsou navíc vyvrtány odlehčovací díry o vnitřních průměrech přivařených trubek. Držák je připevněn svařováním k hornímu a dolnímu trojúhelníkovému ramenu. Ramena jsou tvořena dvěma trubkami  $\varnothing 10 \times 2$  [mm]. Obě ramena jsou přivařena k výztuze předního půloblouku. Rozdíl tvoří druhá strana trojúhelníkových ramen s tím, že horní rameno je přivařeno k horní trubce držáku a dolní rameno je přivařeno k dolní trubce držáku. Celková hmotnost držáku je 1,078 [kg].

#### **4.4.5 Varianta D**

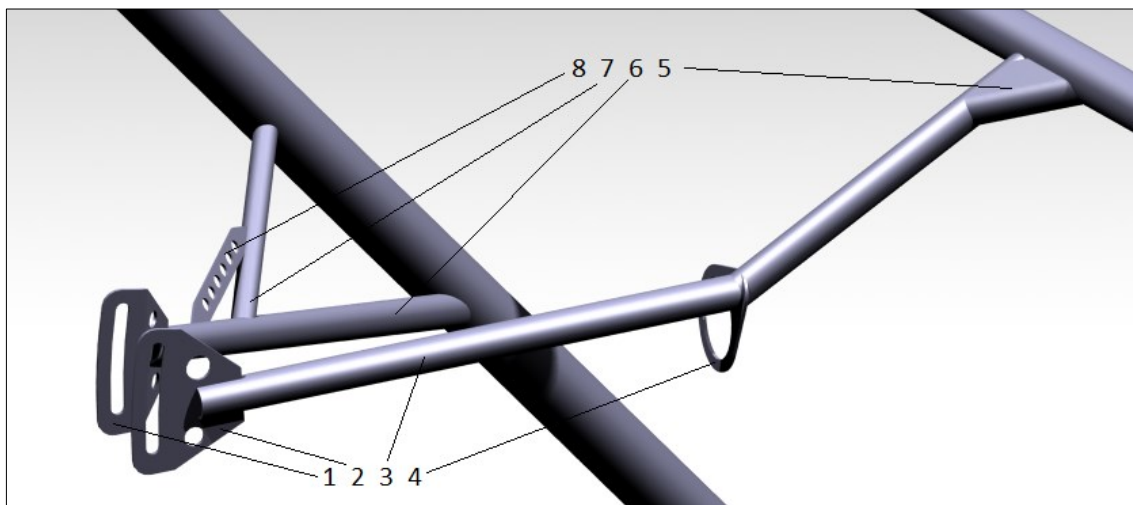
#### 4.4.6 Varianta E – upravená varianta D



*Obr. 15 – Varianta E – upravená varianta D, 1 – levá výztuha,  
2 – levá vzpěra, 3 – levá strana domku volantu,  
4 – pravá strana domku volantu, 5 – pravá vzpěra,  
6 – ložiskový domek [Autor]*

Varianta E, kterou jsem navrhl optimalizováním současné poslední varianty, vychází především z úvahy snížit hmotnost při zachování přípustné tuhosti konstrukce. Tedy levá strana domku řízení a pravá strana domku řízení nejsou pevně spojeny. Zatížení a deformace místo původního žebra bude přenášet šroub v ložiskovém domku volantu. Levá strana volantového domku je ohnutá a vnořena do trubky, jako je tomu na pravé straně. Levá vzpěra o rozměrech  $\varnothing 20 \times 1$  [mm] je podpořena přidavnou výztuhou o rozměrech  $\varnothing 14 \times 1,5$  [mm] a obě tyto trubky jsou přivařeny na výztuhu předního půloblouku. Pravá vzpěra držáku volantu o rozměrech  $\varnothing 20 \times 1$  [mm] je opět jako předchozí přivařena na vzpěru předních půloblouků. Držák je tvořen dále dvěma plechy o tloušťce 2 [mm]. Celková hmotnost držáku je 0,778 [kg].

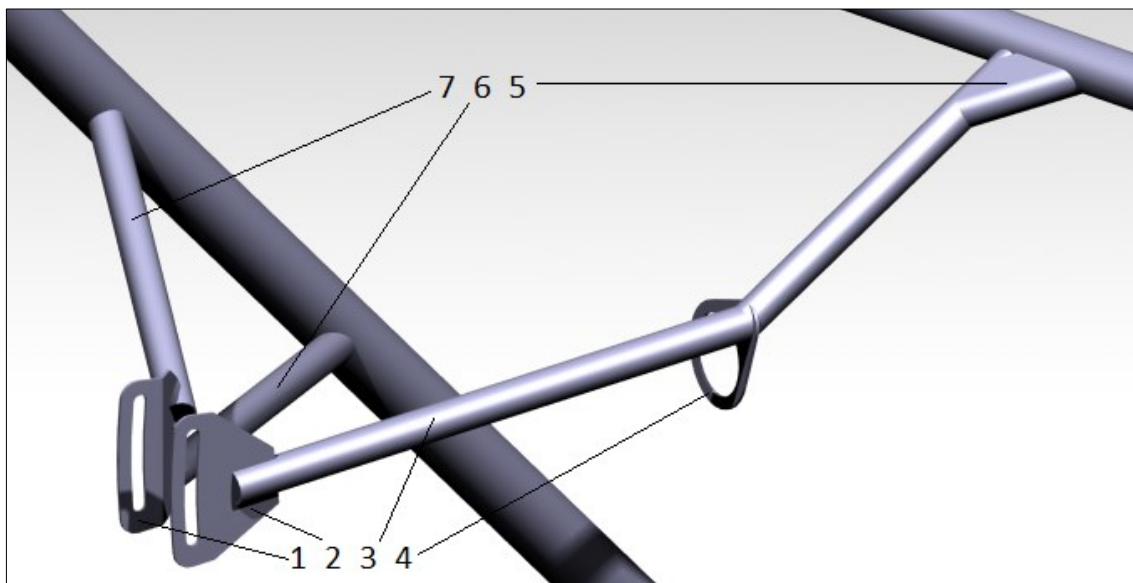
#### 4.4.7 Varianta E1



*Obr. 16 – Varianta E1, 1 – levá strana domku řízení, 2 – pravá strana domku řízení, 3 – pravá vzpěra, 4 – domek ložiska, 5 – rohová výztuha, 6 – levá vzpěra, 7 – výztuha levé vzpěry, 8 – žebro levé vzpěry [Autor]*

Varianta E1 je upravenou variantou E, kde jsem, podle očekávání průběhu deformace, provedl vyztužení konstrukce rohovou výztuhou mezi pravou vzpěrou a přední vzpěrou tlumičů. Plech je ohnutý do tvaru „U“ z materiálu stejného jako domek řízení. Polotovarem rohové výztuhy je plech o tloušťce 1,5 [mm]. Další vyztužení konstrukce držáku jsem provedl mezi levou vzpěrou a výztuhou levé vzpěry. Jde o odlehčené plechové žebro, tloušťky 1,5 [mm] jak je vidět na Obr. 16. Pravá strana domku řízení je také odlehčena otvory. Hmotnost takto navrženého držáku je 0,882 [kg].

#### 4.4.8 Varianta E2

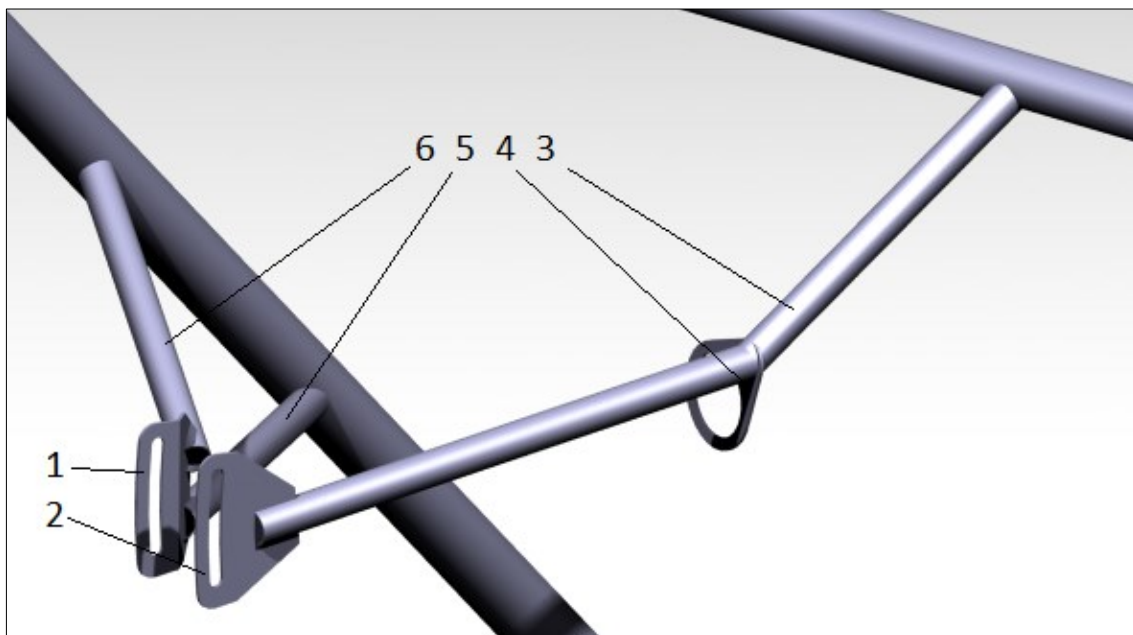


*Obr. 17 – Varianta E2, 1 – levá strana domku řízení, 2 – pravá strana domku řízení, 3 – pravá vzpěra, 4 – domek ložiska, 5 – rohová výztuha, 6 – levá spodní vzpěra, 7 – levá horní vzpěra [Autor]*

Varianta E2 je upravenou variantou E, kde jsem provedl vyztužení konstrukce rohovou výztuhou (Obr. 17, pozice 5) mezi pravou vzpěrou a přední vzpěrou tlumičů. Plech je ohnutý do tvaru „U“ z materiálu stejného jako domek řízení. Rohová výztuha je z plechu o tloušťce 1,5 [mm]. Levá strana domku řízení se u této varianty skládá ze dvou vzpěr – horní a spodní. Každá z trubek je Ø20x1 [mm]. Levé vzpěry jsou přivařeny k výztuze předního půloblouku. Hmotnost takto navrženého držáku je 0,513 [kg].



#### 4.4.9 Varianta E3



*Obr. 18 – Varianta E3, 1 – levá strana domku řízení, 2 – pravá strana domku řízení, 3 – pravá vzpěra, 4 – domek ložiska, 5 – levá dolní vzpěra, 6 – levá horní vzpěra [Autor]*

Varianta E3 je upravenou variantou E2. Rozdíl tedy spočívá v odstranění rohové výztuhy mezi pravou vzpěrou a přední vzpěrou tlumičů. Došlo především k uspořené hmotnosti o cca 28 [g]. Celková hmotnost varianty E3 je tedy 0,485 [kg].

## 5 Vypracování konstrukčního návrhu pro optimální variantu

### 5.1 Materiály používané pro konstrukci ochranných rámců

Výběr vhodného materiálu, který použiji pro návrh držáku sloupku řízení, je důležitý jak z hlediska výroby, tak z hlediska provozu, údržby a především ceny.

#### 5.1.1 25CrMo4

Označení dle ČSN EN 10083-1. Ocel s nižší prokalitelností pro středně namáhané strojní díly. Je zaručeně/podmíněně svařitelná a vhodná pro výrobu bezešvých trub. Při použití malých tloušťek polotovarů je nutný lokální předehřev – viz. kapitola 8.2. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 48[HRC]. V zušlechťeném stavu dosahuje středních hodnot pevnosti a meze kluzu při relativně vysoké houževnatosti. Není náchylná k popouštěcí křehkosti. [17]

*Tabulka 2 – Chemické složení [17]*

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]
0,22 – 0,29	max. 0,040	0,60 – 0,90	max. 0,025	max 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30

*Tabulka 3 – Mechanické vlastnosti [17]*

Mez kluzu Re [MPa]	min. 600
Mez pevnosti Rm[MPa]	800 – 950
Tažnost A <sub>10</sub> [%]	min. 14

### 5.1.2 15CrMoV6

Také známá pod názvem 15CrMoV6 je legovaná ocel kombinující vysokou mez kluzu s dobrou houževnatostí a zaručenou svařitelností. Je zaručeně svařitelná a bez potřeby dalšího tepelného zpracování. Tato ocel má mnoho uplatnění v leteckém průmyslu a v motorsportu například v ochranných rámech, tlakových nádobách, zavěšení, součásti raketových motorů a pomocné rámy. [18]

*Tabulka 4 – Chemické složení [18]*

C [%]	P [%]	Si [%]	V [%]
0,12 – 0,18	max. 0,020	max. 0,20	0,20 – 0,30
Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	
0,08 – 1,1	0,25-1,5	0,8-1,0	

*Tabulka 5 – Mechanické vlastnosti [18]*

Mez kluzu Re [MPa]	min. 790
Mez pevnosti Rm[MPa]	980 – 1180
Tažnost [%]	min. 11

### 5.1.3 T45

Mangan uhlíková trubková ocel dodávaná ve tvrzeném a temperovaném stavu. Nachází uplatnění jak v motorsportu, tak v leteckém průmyslu, díky svému vysokému poměru pevnosti a hmotnosti. T45 je zaručeně svařitelná, ale na rozdíl od ostatních CrMo ocelí (trubek) nevyžaduje tepelné zpracování po svařování. [19]

*Tabulka 6 – Chemické složení [19]*

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]
0,17 – 0,25	1,30 – 1,70	0,10 – 0,35	max. 0,25
Mo [%]	Ni [%]	P+S [%]	
0,10	max. 0,40	max. 0,040	

*Tabulka 7 – Mechanické vlastnosti [19]*

Mez kluzu Re [MPa]	min. 620
Mez pevnosti Rm[MPa]	700 – 900
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	15

#### 5.1.4 AISI 4130

AISI 4130 je nízkolegovaná chrom – molybdenová ocel, s nominálním obsahem uhlíku 0,30 [%]. Díky této nízké hodnotě uhlíku, je slitina skvěle svařitelná. Po svařování může být tepelně upravena. Využití nachází v leteckém průmyslu například jako držáky leteckých motorů nebo v aplikacích svařovaných trubek. [20]

*Tabulka 8 – Chemické složení [20]*

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]
0,28 – 0,33	0,4 – 0,6	0,15 – 0,35	0,8 – 1,1
Mo [%]	P [%]	S [%]	
0,15 – 0,25	max. 0,035	max. 0,04	

*Tabulka 9 – Mechanické vlastnosti [20]*

Mez kluzu Re [MPa]	min. 435
Mez pevnosti Rm [MPa]	670
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	min. 25,5

#### 5.1.5 DOCOL (obchodní označení)

Docol 800 DP je nízkouhlíková vysokopevnostní dvoufázová ocel, která se vyznačuje velmi dobrou tvárností, ve srovnání s pevností. A také zaručenou svařitelností. Pro nízký chemický obsahu je možné použít všechny běžné metody svařování. Výhody použití materiálu DOCOL jsou: snížená hmotnost, zjednodušená výroba, zvýšená bezpečnost, delší životnost, zvýšená nosnost a snížené celkové náklady. [21]

*Tabulka 10 – Chemické složení [21]*

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Al [%]
max. 0,16	max. 1,7	max. 0,4	max. 0,02	max. 0,004	min. 0,015

*Tabulka 11 – Mechanické vlastnosti [21]*

Mez kluzu Re [MPa]	800 – 900
Mez pevnosti Rm [MPa]	850 – 950
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	5 – 10

## 5.2 Určení optimální varianty konstrukčního návrhu

### 5.2.1 Určení kritérií

Kritéria, podle kterých budu následně vybírat variantu držáku sloupku řízení, jsem stanovil s ohledem na komplexní zajištění výroby a funkčnosti takto:

#### Hmotnost

Tato fyzikální vlastnost materiálu, je základní jednotkou SI. Matematicky lze hmotnost vyjádřit jako součin hustoty použitého materiálu a objemu počítaného tělesa. Pro ocel je hustota definována jako  $\rho_{\text{ocel}} = 7850 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ .

$$m = \rho \cdot V \text{ [kg]} \quad 1)$$

Kde:  $\rho$  ... hustota  $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$   
 $V$  ... objem tělesa  $[\text{m}^3]$

V motorsportu je hmotnost nejdůležitějším faktorem. Při návrhu vozidla a jeho konstrukčních celků jde především o co nejnižší hmotnost. Případně je možné dovažovat vozidlo do minimální povolené hmotnosti tam, kde to konstrukce dovolí a je to výhodné vzhledem k poloze těžiště. Cílem soutěžních týmů je, aby závodní vozidlo rally, bylo svou hmotností na hodnotě, minimální předepsané hmotnosti podle technických předpisů FIA.

#### Tuhost

Fyzikální vlastnost součásti, která udává změnu délky v závislosti na velikosti působící síly. Např.  $k = 1$  znamená, že abychom změnili délku o 1 [m] musíme vyvinout sílu o velikosti 1 [N].

$$k = \frac{F}{\Delta l} [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad 2)$$

Kde:  $F$  ... velikost působící síly [N]  
 $\Delta l$  ... je rozdíl délek před stlačením a po stlačení tzv. deformace [mm]

Tuhost je další důležitou vlastností závodního vozidla, nicméně je řazena z hlediska vývoje za hmotnost. Celý vývoj je postaven na přiměřené rovnováze mezi hmotností a tuhostí. Obecně lze říci, že závodní vozidlo rally je vyztuženo a je žádoucí, aby bylo tuhé. To se týká i samotného držáku sloupku řízení.

### **Cena**

Cena vyjadřuje finanční hodnotu materiálu/výrobku v peněžních jednotkách [Kč] a souvisí s množstvím použitého materiálu a prací kvalifikovaného svářeče a pracovníků v přípravné fázi výrobku. Práce svářeče dále souvisí s pracností konstrukce. Do ceny konstrukce je nutné zahrnout i přípravné práce jako jsou řezání, ohýbání, vrtání a frézování.

Cena se stává důležitou součástí pro výrobce tehdy, je-li nutné dodržet předem stanovený rozpočet ať už ze strany společnosti nebo ze strany FIA. Vozidla kategorie S2000 jsou řešena jako levnější a dostupnější než vozidla kategorie WRC. Tento požadavek vydává FIA a je možné, ze strany výrobce jej i snížit, tedy cena hraje také důležitou roli.

### **Zajištění spolehlivé montáže sloupku řízení**

Zajištění spolehlivé montáže tak, aby navrhované řešení bylo snadno proveditelné a jednoduše vyrobitelné. Tato skutečnost závisí na dostupných technologiích výrobce, přípravcích použitých při výrobě, montáži a taktéž na manuální zručnosti pracovníků, zabývajících se výrobou a kompletací dílů v jeden celek.

### **Zajištění technologie výroby**

Představuje použití takových technologií, které jsou dostupné u výrobce. Možnost předejít prodražení výroby tím, že budeme některé díly vyrábět v kooperaci na speciálních strojích u externích firem, či dokonce budeme muset sami zakoupit speciální stroj, vyškolit pracovníky apod. Tím může dojít i k nežádoucí časové prodlevě, či špatné komunikaci a vzniku zmetků, které celou výrobu neúměrně prodraží a prodlouží. Důležitou roli pak hrají výrobní a montážní přípravy.

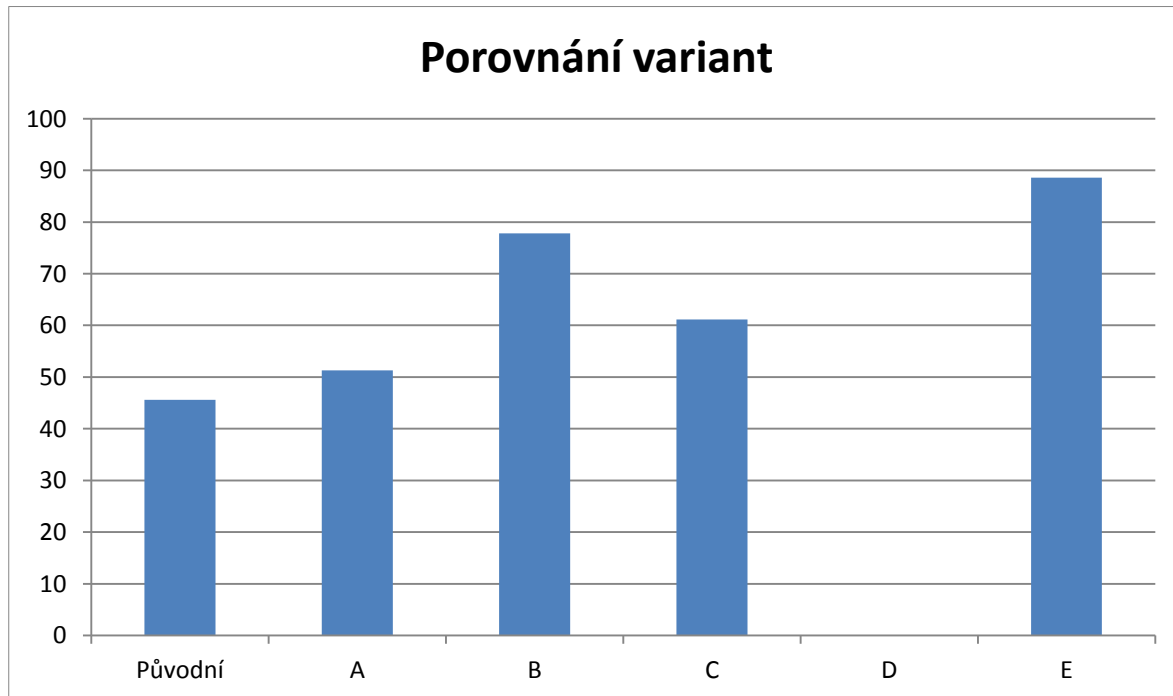
### 5.3 Vypracování konstrukčního návrhu optimální varianty

Vyhodnocení optimální varianty, ze všech výše navržených koncepčních variant, jsem provedl na základě tří metod vícekritériálního rozhodování a konzultací s akademickými pracovníky VŠB – TU Ostrava. Pro rozhodování jsem použil metodu alokace 100 bodů, metodu párového porovnání a metodu preferenčního pořadí, jejichž metodika je vysvětlena v Příloze B.

Optimalizačními kritérii pro mě byly:

- Nízká hmotnost
- Použitá technologie
- Montáž

Hodnotící Tabulka 22 je zobrazena v Příloze B. Výsledky jsem graficky zpracoval do následujícího Graf 1. Z grafu je patrné, že nejméně vhodnými variantami pro výběr optimální, jsou varianty původní, A, B a C.



*Graf 1 – Porovnání variant pořadí hodnocení použitých metod [Autor]*

Z výběru vyřazuji variantu A. Takto navržená varianta, je optimalizovanou původní variantou. Návrhem došlo pouze ke snížení hmotnosti držáku o 243 [g] což představuje úsporu cca 19 [%]. Pracnost, vyrobitelnost a technologie výroby tohoto držáku zůstaly také stejné. Cena se díky nižšímu množství materiálu snížila. Pro představu, jak je konstrukce navržena, se u této varianty budu zabývat průběhem napětí a deformací.

Dále vyřazuji z výběru variantu B, protože se její pracnost neúměrně zvýšila, množstvím příčných žeber a složitostí výpalku. Ta prodraží výrobu, časem programování programu pro vypalování laserem, a stejně tak i dobou potřebnou pro práci laseru při vypalování odlehčeného plechu. Ovšem došlo ke snížení hmotnosti o 505 [g] představující cca 40 [%] úsporu.

Varianta C se jeví také jako nevhodná, z důvodu nízké úspory materiálu a vysoké pracnosti při výrobě. Rozdíl je 198 [g] což je cca 16 [%] úspora hmotnosti. Vzhledem ke konstrukci je zřejmé že pracnost a technologie výroby se výrazně zvýšila. Jde především o použité polotovary, kde trubky  $\varnothing 10 \times 2$  [mm] jsou náročné na svaření svářečem, případně na výrobu svařovacího přípravku, aby nedošlo k deformaci držáku při chladnutí svarů. S pracností se zvyšuje i cena držáku a čas potřebný pro jeho výrobu. Pro představu chování držáku při zatížení budu realizovat simulační výpočet metodou konečných prvků pro tento držák.

Z variant, které jsem navrhl, se jeví varianta E, jako nejvýhodnější a proto ji volím pro konstrukční zpracování a výpočet metodou konečných prvků. Její hmotnost se snížila oproti původní variantě o 498 [g] představující cca 39[%] úsporu. Jde především o to, že se jedná o optimalizovanou variantu D. Konstrukční návrh jsem zpracoval formou sestavného výkresu viz. Příloha G.



## **6 Průběh napětí a deformací**

### **6.1 Software použitý pro výpočet namáhání metodou konečných prvků**

#### **6.1.1 Ansys WORKBENCH**

Důležitým krokem vývoje je výpočtová analýza namáhání výrobku. Ta odhalí výhody a nedostatky navrhované konstrukce. K analýze namáhání výrobku metodou konečných prvků (MKP, ang. FEM) je vhodné použít prostředky, které jsou k tomuto účelu navrženy. Jedná se například o software KOSMOS, MSC/NASTRAN, ANSYS a další.

K výpočtu simulace namáhání jsem použil program Ansys Workbench. Jde o modul metody konečných prvků z palety programu Ansys. Program Ansys slouží jako prvotní rozhraní pro všechny simulační moduly produktu Ansys. Jeho velkou výhodou je schopnost zpracovávat CAD data od jiných konstrukčních programů. Software Ansys je určen ke strukturálním, teplotním, fluidním a elektromagnetickým analýzám. Program je postaven na metodě konečných prvků a spolupracuje dále s moduly, jakými jsou např.: Ansys Design Modeler (sloužící k vytvoření geometrie přímo v programu Ansys) a dalšími.

### **6.2 Úvod do metody konečných prvků**

Metoda se v praxi označuje zkratkou MKP (anglicky pak FEM, Finite Element Method). Jde o matematickou metodu, založenou na řešení soustavy diferenciálních rovnic, popisujících vlastnosti počítané fyzikální soustavy. Jde tedy o prostředek, například k řešení rovnic, které popisují tuhé těleso s danými materiálovými vlastnostmi a zatížené vnějšími silami. Výsledkem je pak deformace a napjatost počítaného tělesa. Tímto způsobem a v takovémto softwaru je možné počítat pomocí Navier-Stokesových rovnic proudění nebo popisovat chování teplotního pole podle Laplaceovy rovnice. Pro inženýrské aplikace, které jsou předmětem analýz, jsou charakteristické fyzikálně komplexní soustavy nad tvarově složitou geometrií. Pro řešení těchto situací se pro praxi ukázala jako nejvhodnější metoda konečných prvků, tedy numerická aproximační metoda.

## Kroky výpočtu MKP

- 1) Definice problému
- 2) Tvorba geometrického modelu
- 3) Volba atributů úlohy
- 4) Zatížení, okrajové podmínky
- 5) Generování sítě
- 6) Výpočet, čas pro výpočet
- 7) Variantní výpočty, vyhodnocení

## Vyhodnocení výsledků

Vypočtené výsledky jsou zobrazeny na tvaru (geometrii) součásti jako barevné izoplochy zvolené veličiny. Základní veličinou, ze které je vypočtena a zobrazena je stav napjatosti součásti. Software používá jedinou kategorii napětí a to tzv. porovnávací napětí, které je tvořeno přínosy jednotlivých napětí. Nelze zobrazit jednotlivé složky napětí, což má za následek menší názornost a rozlišení např. napětí tlakové a napětí tahové.

## Napětí

Třísosá napjatost je podle teorie pružnosti v nekonečně malém objemu takto: normálová tahová napětí jsou kladná a normálová tlaková napětí jsou záporná. Smyková napětí jsou kladná, pokud dvě určující osy jsou orientovány dle pravidla pravé ruky. Výše uvedené jsou složky trojrozměrného stavu napjatosti. Nekonečně malý objem, orientovaný podle globálního souřadného systému, může být otočen tak, že hodnoty smykového napětí se rovnají 0 a jsou zde pouze normálová napětí. V tomto stavu normálová napětí dosahují maximálních hodnot a nazývají se hlavní napětí. Nejdůležitější jsou z fyzikálního hlediska tahová napětí  $\sigma$ . Stav napětí, kterým hodnotíme komplexně těleso zatížené reálnými silami, je obecně trojrozměrný. Redukované napětí se běžně srovnává s materiálovými charakteristikami, které jsou zjištěny při jednoosé napjatosti (např. mez pevnosti v tahu).

## Deformace

Další důležitou informací pro konstruktéra je zjištění skutečného stavu deformace navrhované součásti. Ta má důležitou výpovědní hodnotu při posuzování správnosti výpočtového modelu. Reálnost výsledku a správnost zadaných okrajových podmínek se nejlépe hodnotí na vykreslení deformovaném tvaru součásti. Pokud dojde k situaci, že se vypočtené deformace nepřibližují očekávanému chování, je nutné překontrolovat okrajové podmínky.

Testem tuhosti konstrukce držáku sloupku řízení je porovnání hodnot a napětí s původním konstrukčním řešením ve vozidle. Stanovením hodnot napětí v oblastech jeho špiček a kritických průřezích, dostaneme výsledný pohled na tuhost konstrukce. [22]

## 6.3 Postup výpočtu

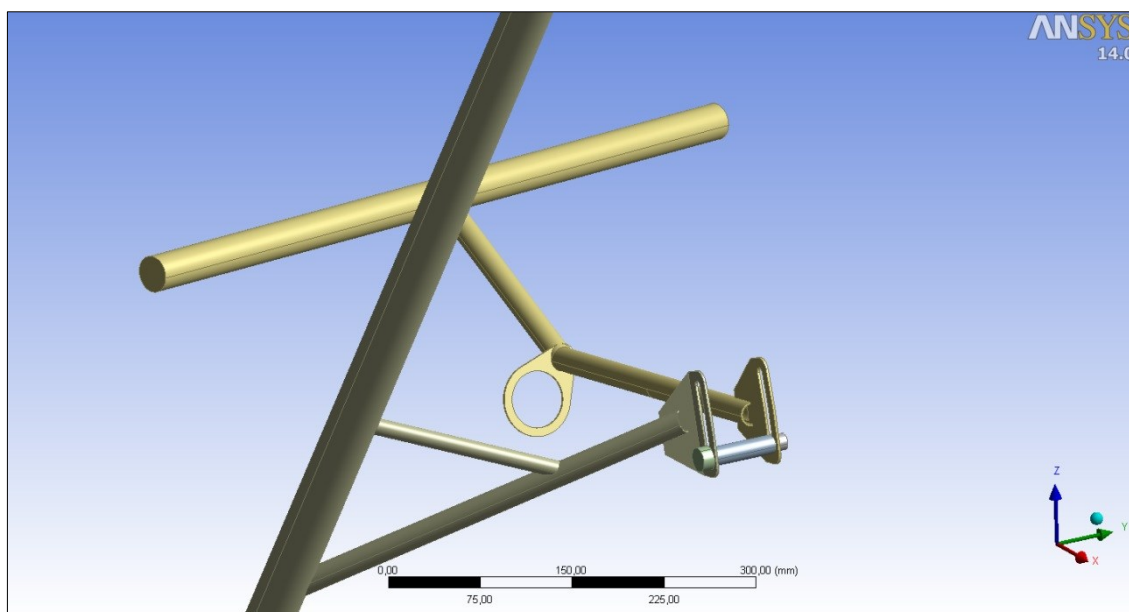
Při prvotním spuštění programu Ansys Workbench jsem zvolil jednotky, ve kterých budu pracovat na [mm], [MPa] a [N]. Pro své řešení zatížení jsem zvolil analýzu „*Static Structural*“.

### Vytvoření (zjednodušeného) modelu

Jak jsem zmínil výše, Ansys Workbench spolupracuje s CAD daty jiných konstrukčních programů, tedy především v univerzálních formátech jakými jsou \*.stp a \*.igs. Převodl jsem tedy data ze souborů CATIA V5 do formátu \*.stp. Data jsem načetl do projektu v programu Ansys volbou „*File/Import external geometry*“. Dále je nutné model vytvořit funkcí „*Generate*“ a ověřit shodnost s původním modelem tedy geometrie v objemech („*solid*“). Pokud by došlo k načtení dat pouze v plochách („*surface*“) nemusí být geometrie výrobku v pořádku.

V modelu jsem vytvořil, oproti koncepčním variantám, tuhé tělesa simulující výztuhu předního půlobloubku a příčnou vzpěru předních půlobloubků. V obou případech se jedná o plné kruhové tyče, s vnějšími rozměry stejnými, jako v ochranné konstrukci. Také jsem vytvořil zjednodušený model šroubu, matice a domku ložiska volantu viz. Obr. 19.

Dále předpokládám absolutně tuhé svary, které přenesou požadované napětí, a také předpokládám, že šroub vyhovuje z hlediska pevnosti a je schopen přenést požadované napětí, které vzniká v držáku sloupku řízení.



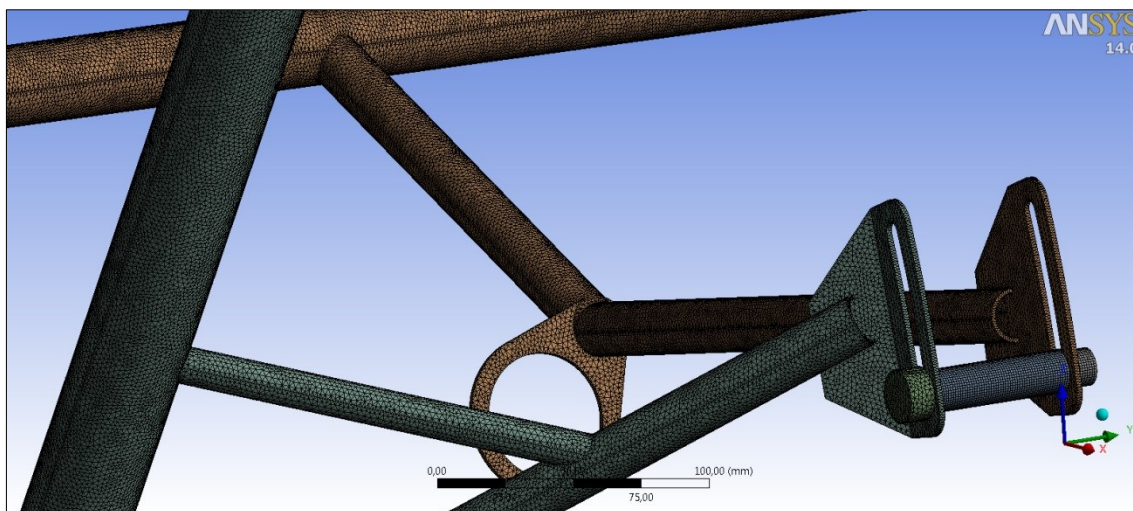
Obr. 19 – Výpočtový model držáku sloupku řízení [Autor]

Po načtení geometrie je vhodné dílům sestavy přiřadit materiál. V knihovně materiálů je na výběr velké množství materiálů. Materiály, které jsem navrhl, je nutné nadefinovat volbou „*Edit Material*“ a zadáním materiálových a mechanických vlastností.

Dále je nutné zkontrolovat návaznost dílčích prvků. K dispozici je klasická metoda spojení nebo „*Weld*“ definující svaření geometrie. Důležité je definovat dotykové plochy a přiřadit vazbu, simulující přivaření.

### Vytvoření sítě konečných prvků

Na importovaném modelu jsem vytvořil síť konečných prvků v části „*Mesh*“ o velikosti elementu 1 [mm]. Tuto vlastnost jsem nastavil v menu „*Meshing*“, políčko „*Sizing*“ a vložil hodnotu 1. Hustota sítě ovlivňuje přesnost výpočtu a čas výpočtu. Síť jsem nastavil, jako programem kontrolovanou a tvar elementů sítě stejně tak. Vytvoření sítě jsem provedl volbou „*Generate Mesh*“. Na Obr. 20 je vidět součást rozdělenou na 500 000 konečných prvků.



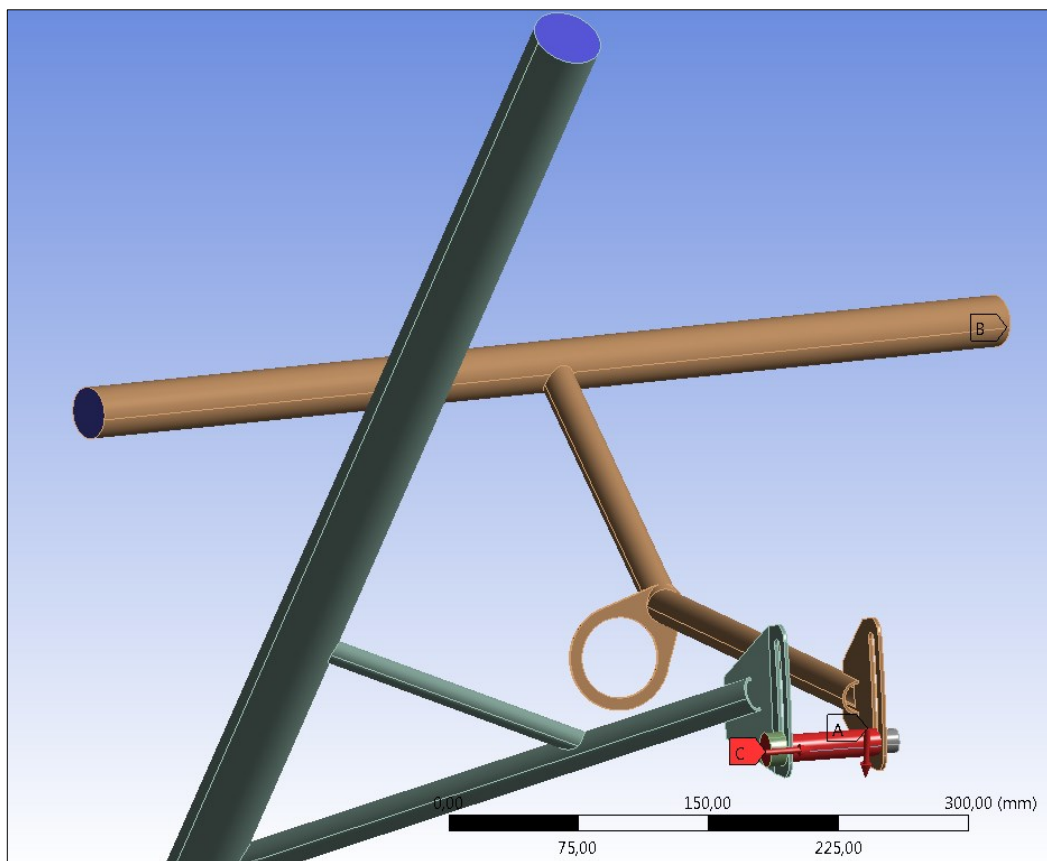
*Obr. 20 – Síť konečných prvků na výpočtovém modelu [Autor]*

### **Vytvoření pevných vazeb**

Prvními, z okrajových podmínek, jsou pevné vazby, sloužící k zafixování výrobku ve zkušebním prostoru prostředí. Pevné vazby („*Support*“) jsem vytvořil na modře označených plochách pevných tyčí viz. Obr. 21.

### **Vytvoření zatěžujících sil**

Dalšími okrajovými podmínkami, jsou zátěže součásti tedy síly, tlaky, dovolený posuv apod. Zatěžující síly byly voleny dle kapitoly 3. Síly jsou zobrazeny na Obr. 21 červenou barvou.



*Obr. 21 – Okrajové podmínky, červeně – zatížení, modře – podpory [Autor]*

### **Vyhodnocení deformací a namáhání**

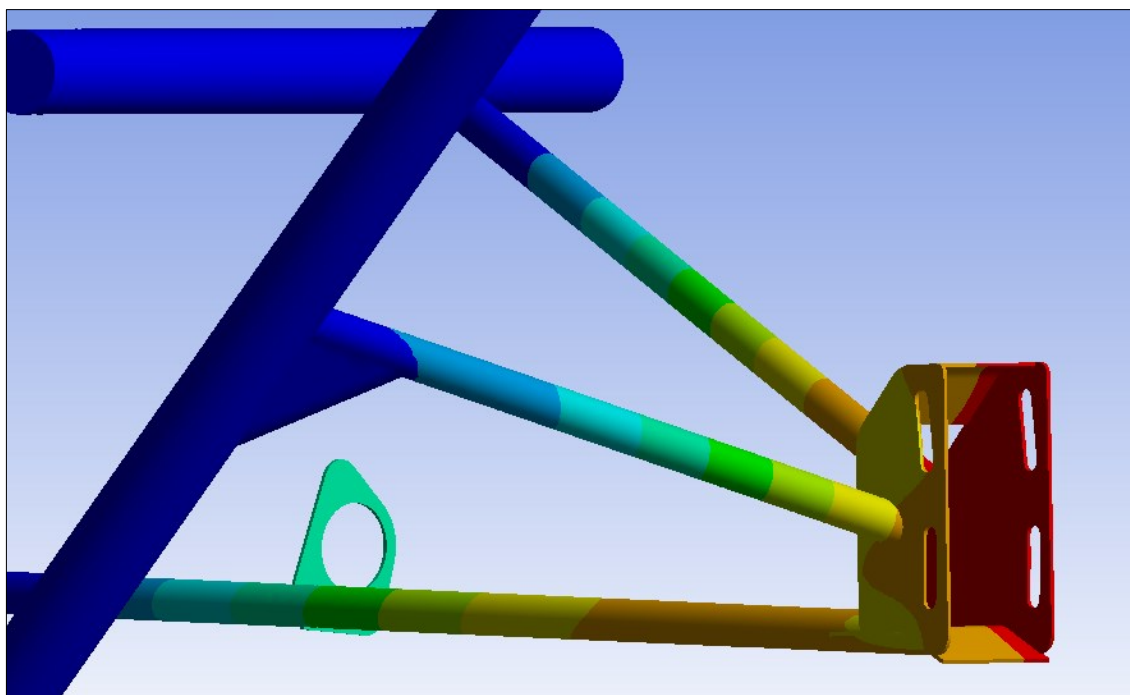
Výsledky analýzy lze zobrazit ve formě písemného protokolu. Pro uživatele jsou však přívětivější grafické výstupy. V mém případě jsem zvolil k hodnocení výsledků redukovaného napětí, hypotézu HMM v programu označenou jako „*von Mises stress*“. Obecná tříosá napjatost je redukována do tohoto ekvivalentního napětí. Další vhodné zobrazení chování součásti v simulaci zatížení, je zobrazení deformace, tedy posunu prvků po zatížení. Zvolil jsem možnost „*Total direction deformation*“. Výpočet byl následně spuštěn volbou „*Solve*“.

## 6.4 Výpočet namáhání MKP pro původní variantu

Při výpočtu namáhání variant držáku sloupku řízení závodního vozidla, jsem z důvodu zjednodušení výpočtu a snížení nároku na výpočetní výkon, neuvažoval o modelování svarů podle skutečného stavu. Každý model, je navrhován jako jeden kus a tvoří tak pevné spojení jednotlivých součástí (trubek a plechů). V místech svarů se vyskytují ostré hrany, které působí jako koncentrátoři napětí a mohou tak vytvářet nepřesnosti (napěťové špičky) ve výpočtu průběhu napětí v držáku sloupku řízení.

### 6.4.1 Výpočet deformací

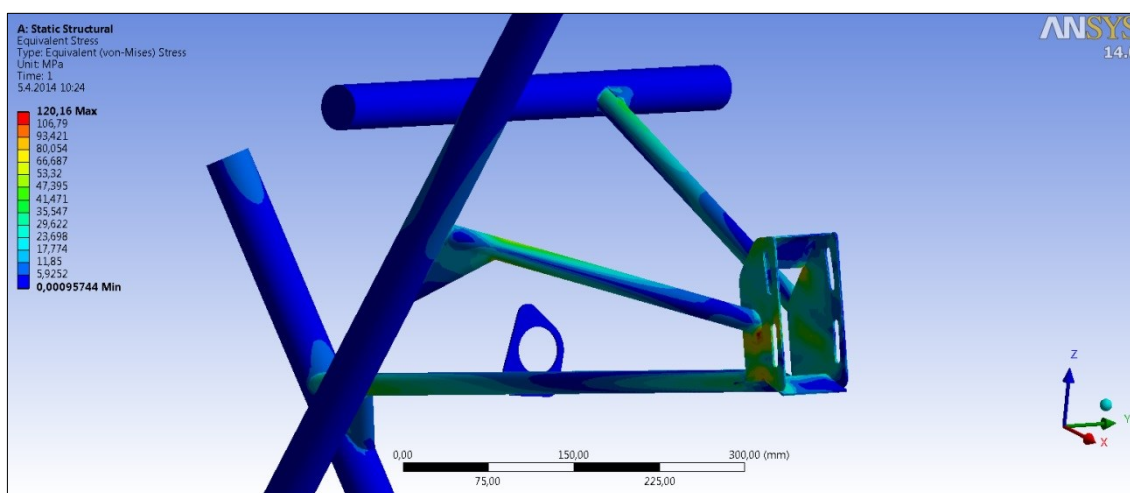
Původní varianta se po zatížení deformovala o 0,93 [mm]. Nejvíce se deformoval držák ve své pravé části domku řízení, tedy kompletně pravá strana. Průběh deformací je vidět níže na Obr. 22.



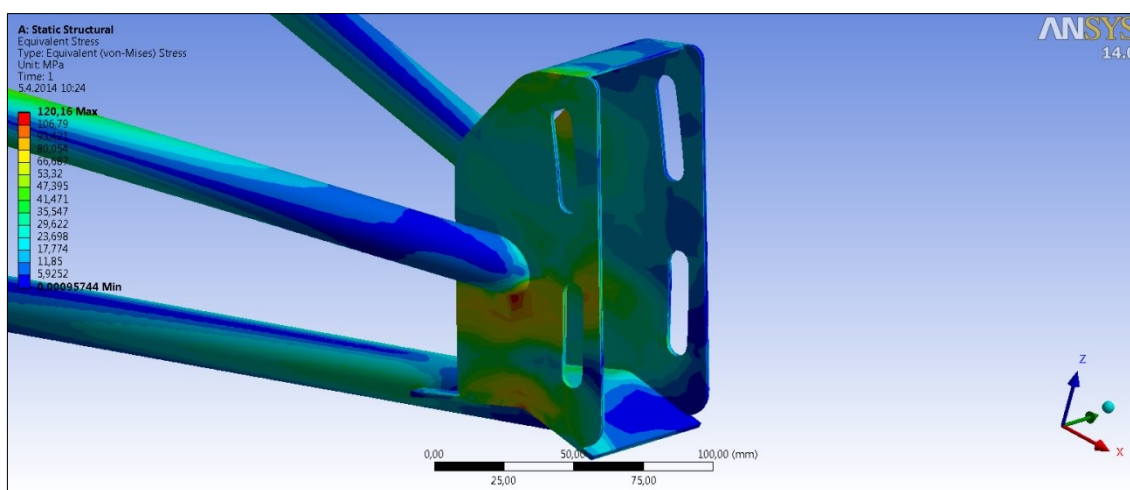
*Obr. 22 – Deformace původní varianty [Autor]*

## 6.4.2 Výpočet namáhání

Při zatížení původní varianty došlo z výpočtu k maximálnímu špičkovému napětí 120 [MPa]. Napětí se objevuje lokálně na ostrých hranách a ostrých přechodech. Můžeme jej tedy zanedbat. Nejvíce je držák namáhán napětím cca 80 [MPa]. Průběh napětí na držáku je patrný z Obr. 23. Z detailu namáhání držáku Obr. 24 je patrné, že držák je nejvíce namáhán v místech přechodů z domku (plechu) na vzpěry (trubky).



Obr. 23 – Napětí původní varianty [Autor]

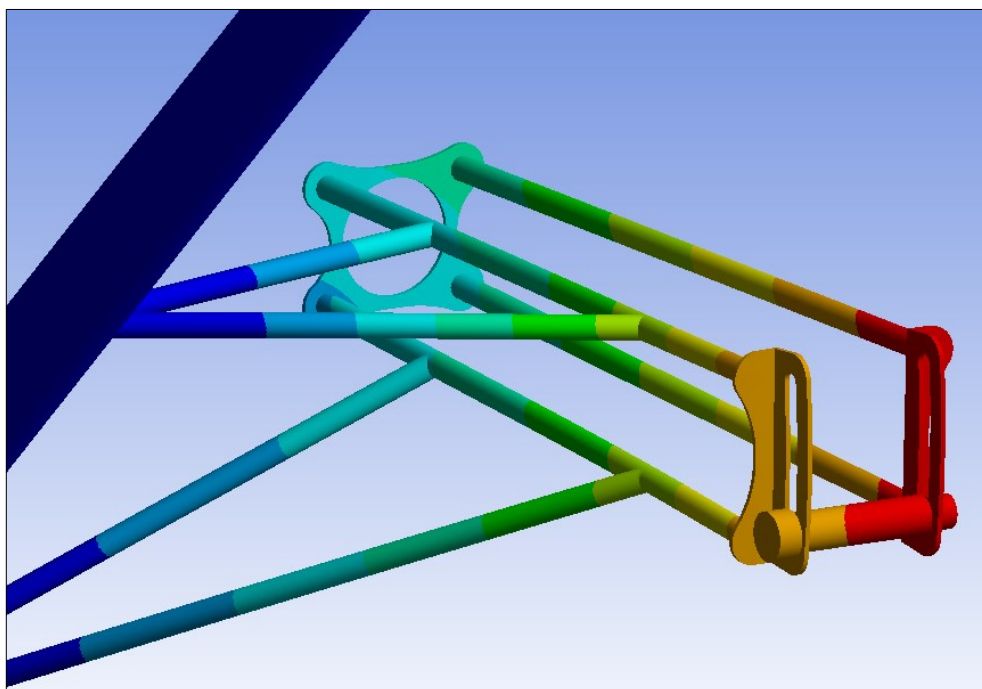


Obr. 24 – Detail napětí původní varianty [Autor]



## 6.5 Výpočet namáhání MKP pro variantu C

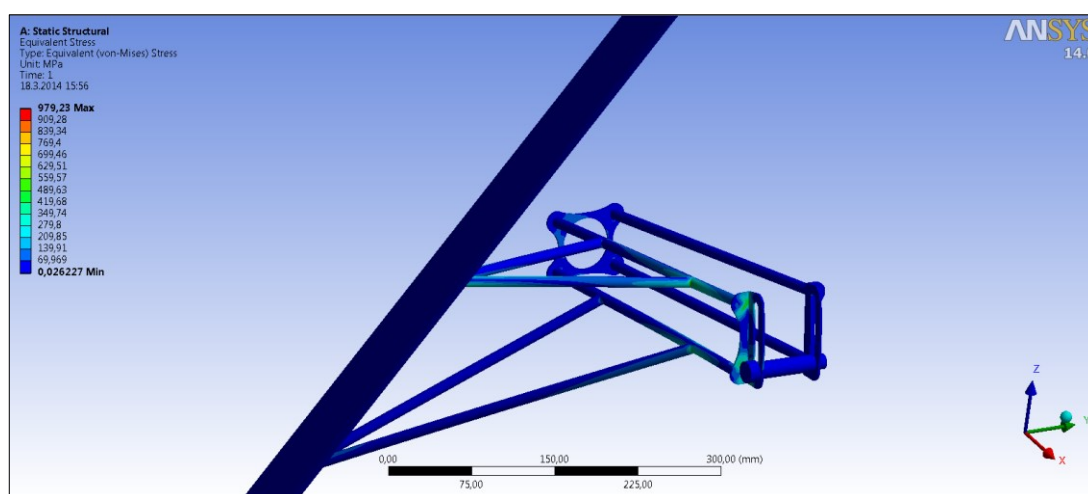
### 6.5.1 Výpočet deformací



Obr. 25 – Deformace varianty C [Autor]

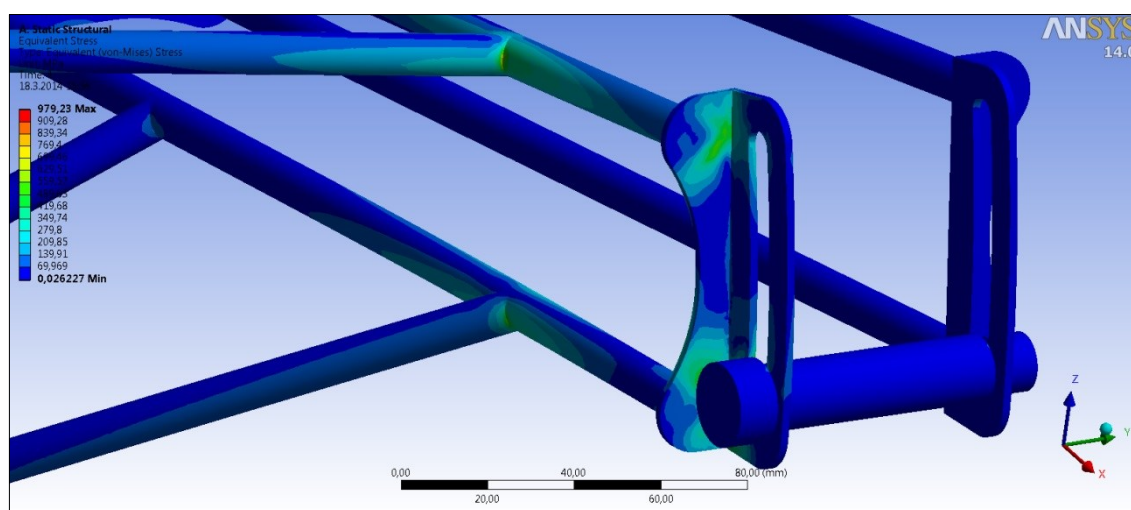
Z výpočtu je patrné, že deformace držáku je přes 7 [mm]. Největší posunutí probíhá ve šroubu, v ložisku a na pravé straně držáku sloupku řízení jak je zobrazeno na Obr. 25.

### 6.5.2 Výpočet napětí

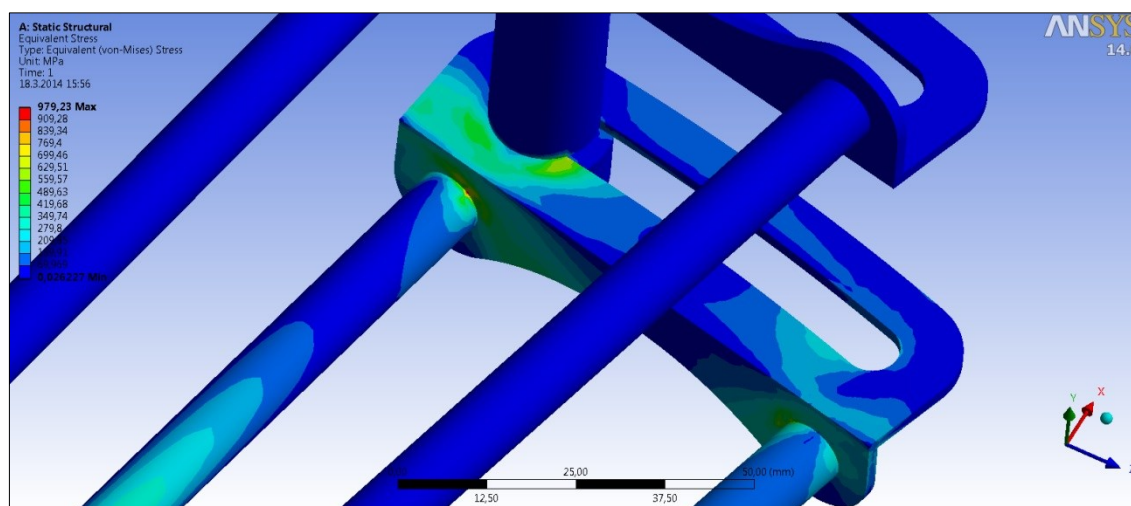


Obr. 26 – Napětí varianty C [Autor]

Napětí na držáku, je největší v levé straně domku držáku a dále se rozkládá do horního trojúhelníkového ramene. Objevují se napěťové špičky s hodnotou 980 [MPa], které jsou v místech ostrých hran. Tyto špičky je možné zanedbat. Nerozsáhlejší zatížení je cca 700 [MPa] což ve zvoleném materiálu plní podmínku pevnosti nižší než  $R_e$ . Největší namáhání je v levé straně domku, v místech přivaření trubek a místech svarů trubek horního ramene. Detail namáhání je zobrazen na Obr. 27 a Obr. 28.



Obr. 27 – Detail napětí varianty C [Autor]



Obr. 28 – Detail napětí varianty C [Autor]

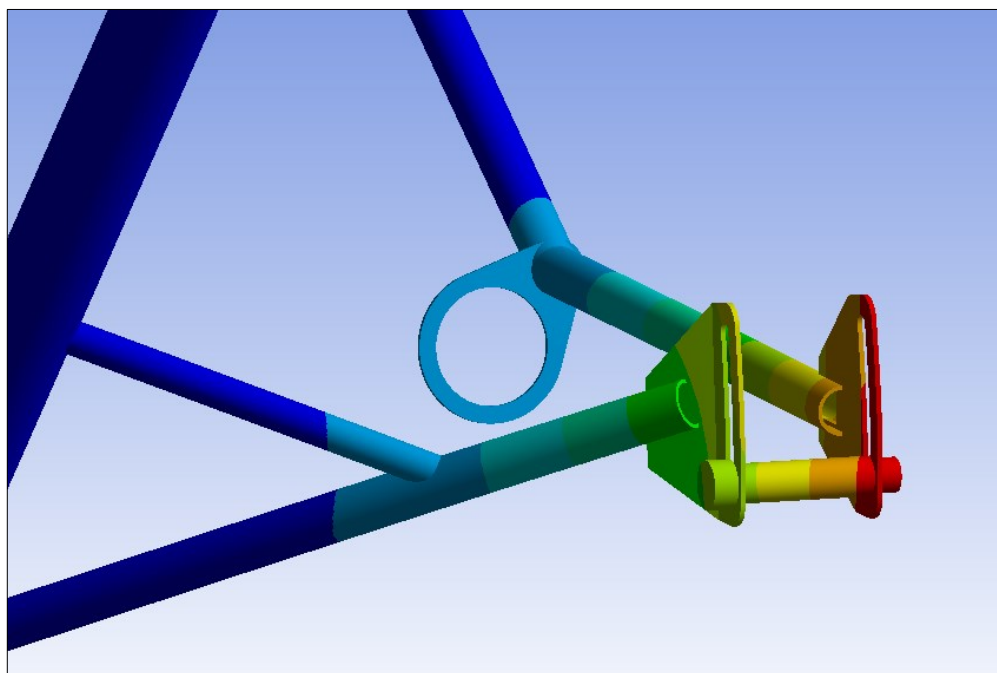
## **6.6 Výpočet namáhání MKP pro variantu D**

### **6.6.1 Výpočet deformací**

### **6.6.2 Výpočet napětí**

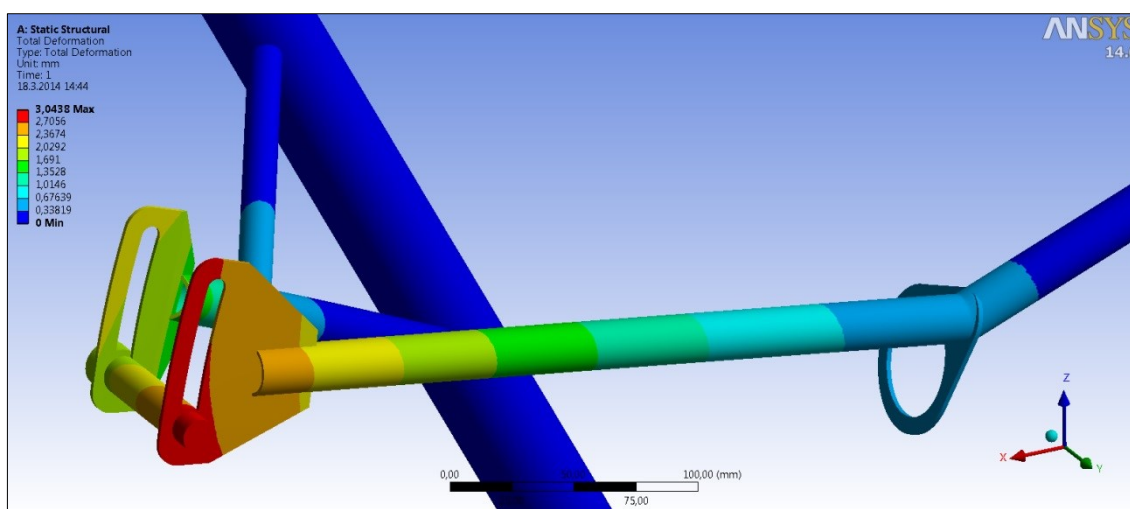
## 6.7 Výpočet namáhání MKP pro optimalizovanou variantu E

### 6.7.1 Výpočet deformací



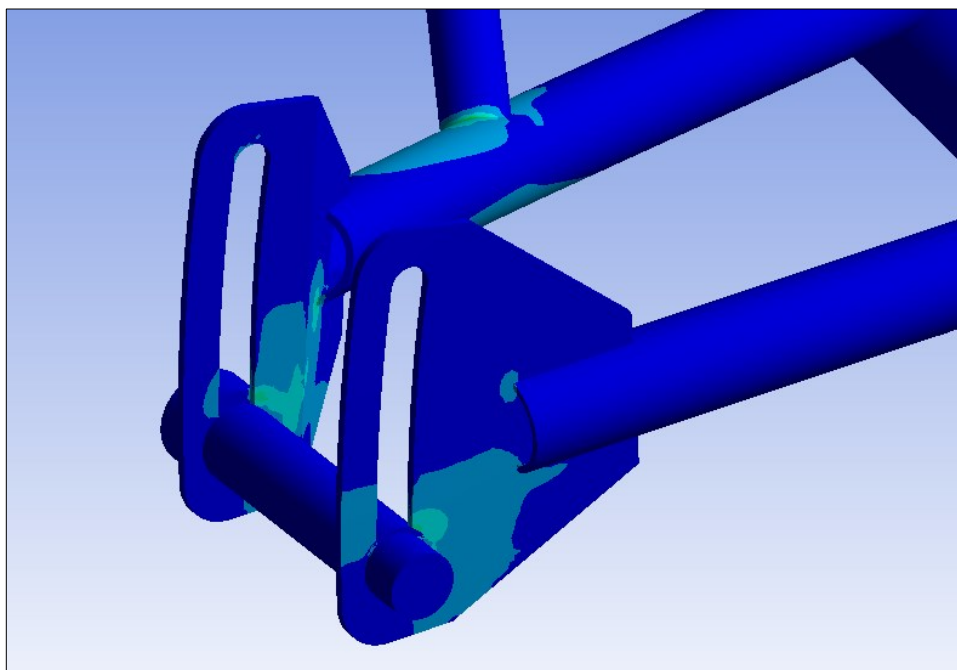
Obr. 29 – Deformace varianty E [Autor]

Na variantě E držáku sloupku, která je optimalizovanou variantou současného stavu (varianta D), dochází podle výpočtu MKP k deformaci 3 [mm]. Největší deformace probíhá v pravé části držáku což je vidět na Obr. 29 a Obr. 30.



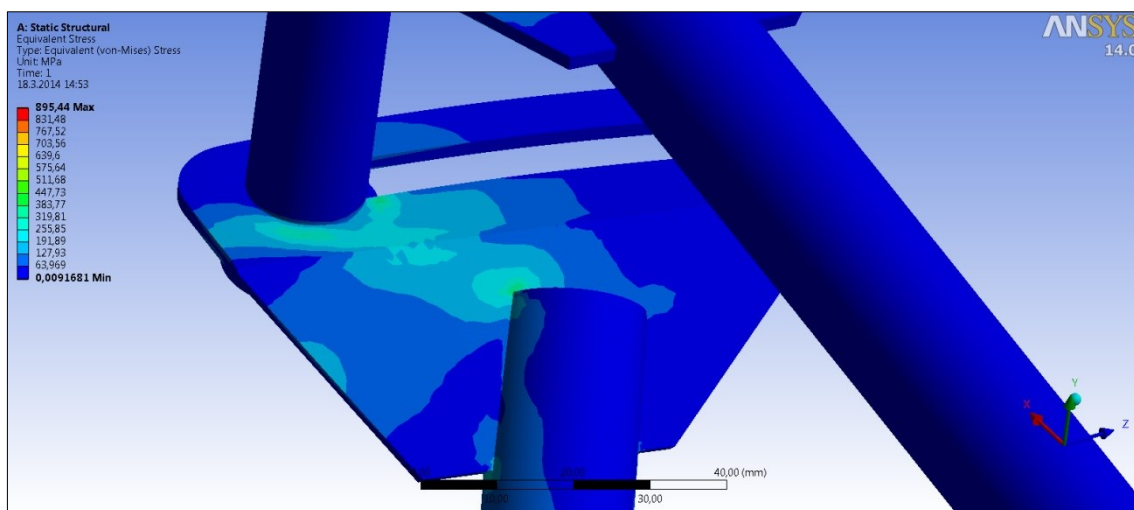
Obr. 30 – Detail deformace varianty E [Autor]

### 6.7.2 Výpočet napětí

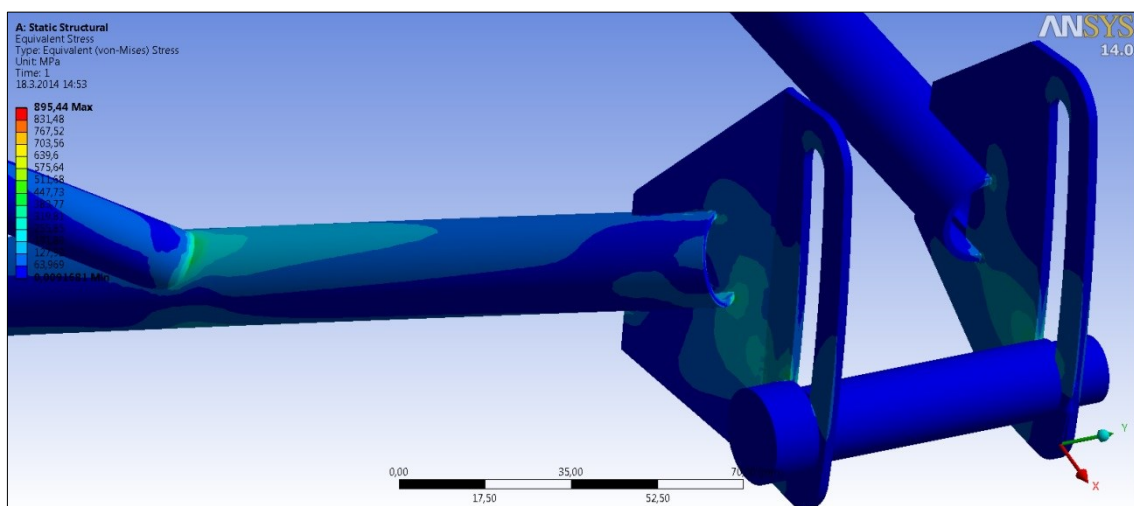


*Obr. 31 – Napětí varianty E [Autor]*

U varianty E, po provedení výpočtu, došlo ke vzniku maximálního napětí 895 [MPa]. Toto napětí je opět špičkové a vyskytuje se pouze lokálně, na ostrých hranách a na velmi malém prostoru. Z těchto důvodů je možné jej zanedbat, protože se jedná o špičkové napětí, které na reálném modelu nenastane. Na Obr. 31 je vidět, že nejvíce napětí (do 350 [MPa]) prochází levou i pravou stranou držáku a tedy i stavěcím šroubem. Dále se napětí rozkládá do výztuhy levé vzpěry. Detaily průběhu napětí na modelu jsou vidět na Obr. 32 a Obr. 33.



*Obr. 32 – Detail namáhání varianty E [Autor]*

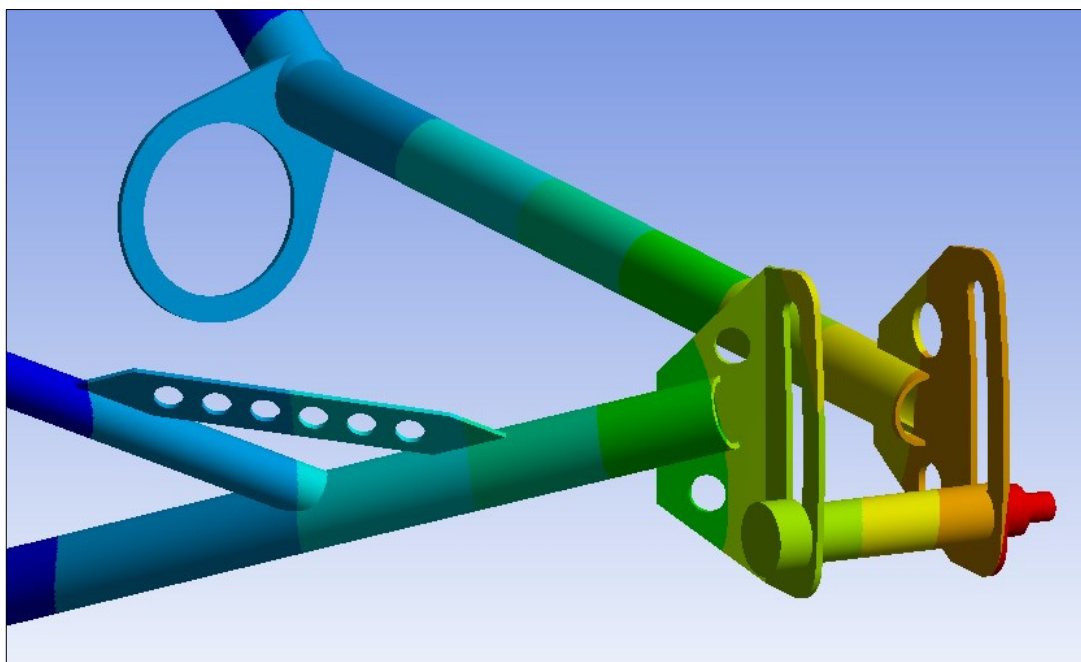


*Obr. 33 – Detail namáhání varianty E [Autor]*

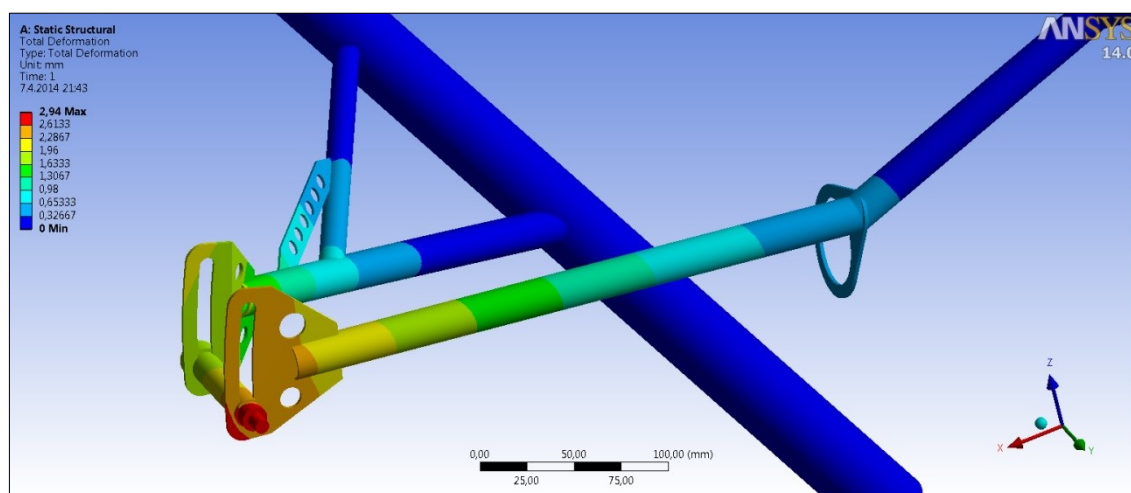
## 6.8 Výpočet namáhání MKP pro variantu E1

### 6.8.1 Výpočet deformací

Na variantě E1 držáku sloupku, dochází podle výpočtu MKP k deformaci 2,5 [mm]. Největší deformace probíhá v pravé části držáku, která je na Obr. 34 a Obr. 35 zobrazena oranžovou barvou. Odlehčené žebro snížilo původní deformaci varianty E, což bylo cílem aplikování tohoto prvku na držák.



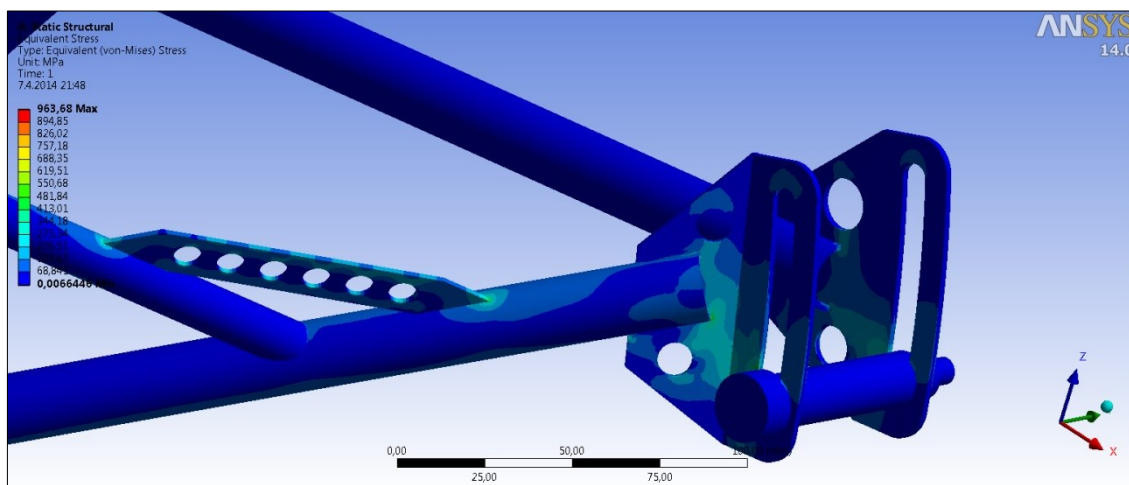
Obr. 34 – Deformace varianty E1 [Autor]



Obr. 35 – Deformace varianty E1 [Autor]



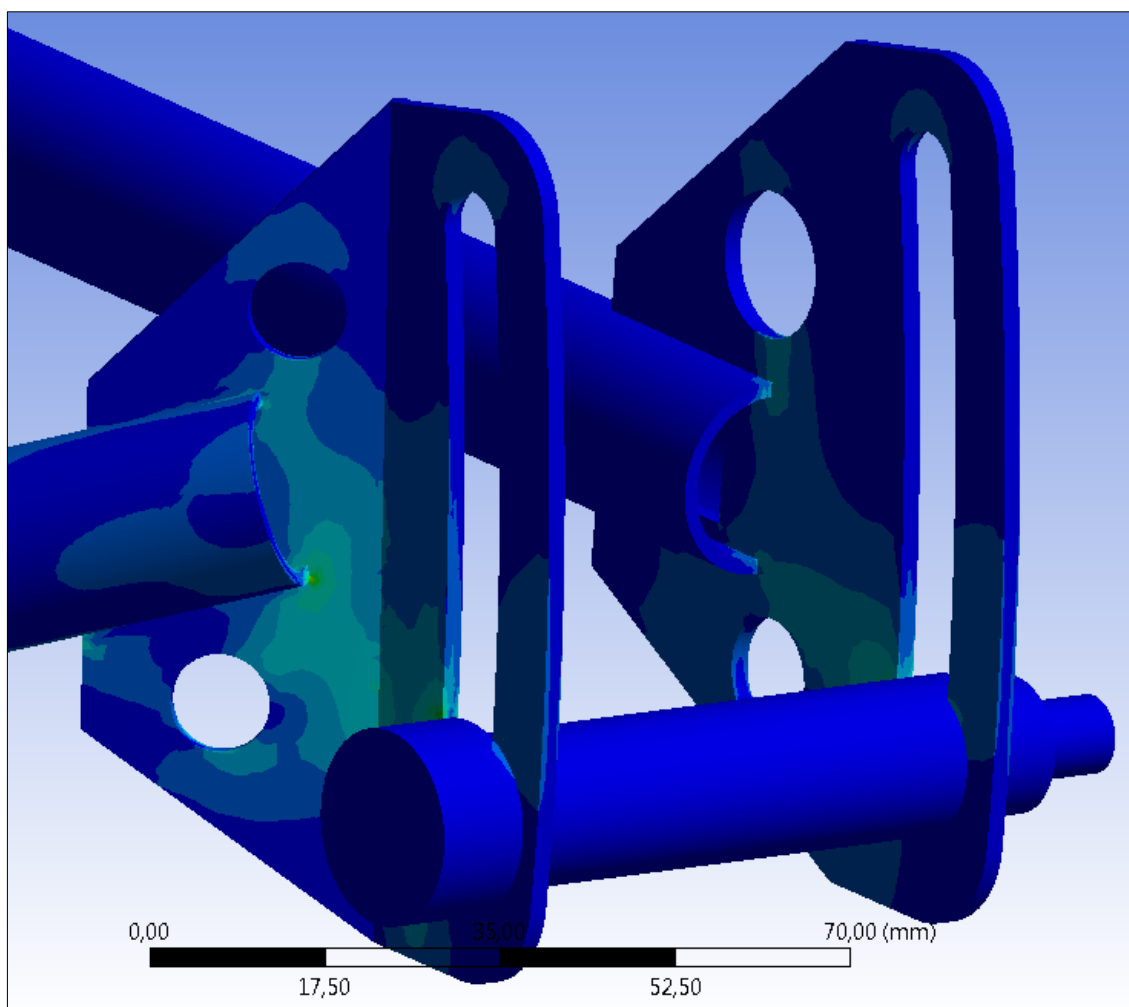
## 6.8.2 Výpočet napětí



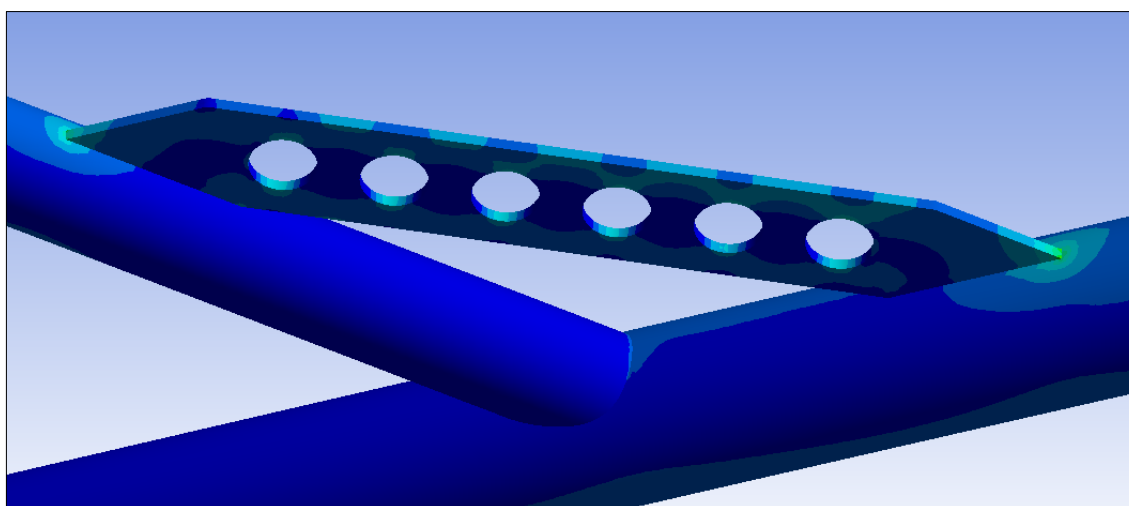
Obr. 36 – Namáhání varianty E1 [Autor]

U varianty E1 je namáhána nejvíce levá strana domku řízení. Je to způsobeno zvýšení tuhosti pravé strany vloženou rohovou výztuhou, která snižuje deformaci pravé vzpěry domku řízení. Opět vznikají lokální špičková napětí, které je možné zanedbat. Nejvíce plošně je držák namáhán napětím 300 [MPa]. Průběh napětí v zatěžovaném držáku je vidět na Obr. 36 a detail namáhání je pak zobrazen na Obr. 37 a Obr. 38.





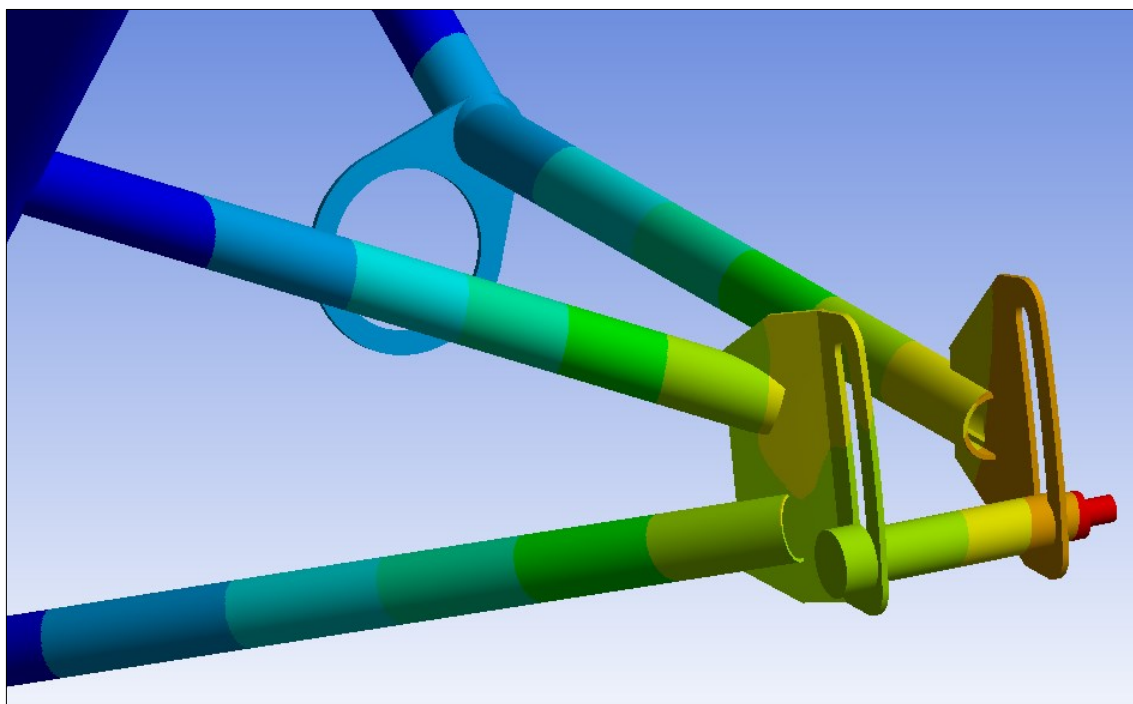
*Obr. 37 – Detail namáhání varianty E1 [Autor]*



*Obr. 38 – Detail namáhání žebra [Autor]*

## 6.9 Výpočet namáhání MKP pro variantu E2

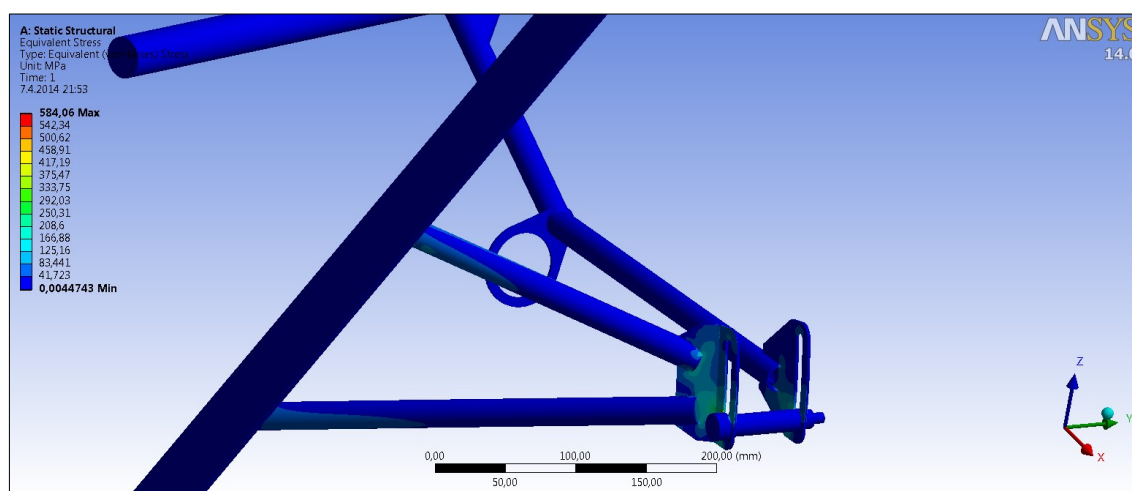
### 6.9.1 Výpočet deformací



*Obr. 39 – Deformace varianty E2 [Autor]*

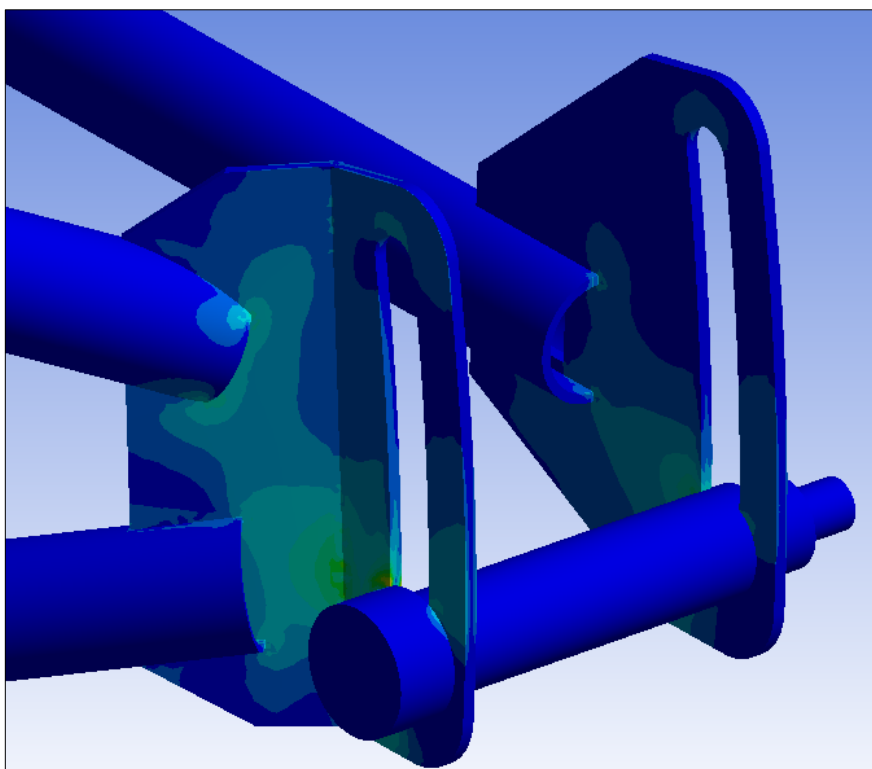
Na variantě E2 držáku sloupku, dochází podle výpočtu MKP po zatížení silami k deformaci 1,1 [mm]. Největší deformace probíhá opět v pravé části držáku. Změna oproti variantě E1 je v nahrazení žebra a levé vzpěry s výztuhou, dvěma vzpěrami. Touto úpravou došlo k vyztužení levé strany držáku a tím k pozitivnímu snížení deformace držáku sloupku řízení. Průběh deformace je zobrazen na Obr. 39.

## 6.9.2 Výpočet napětí

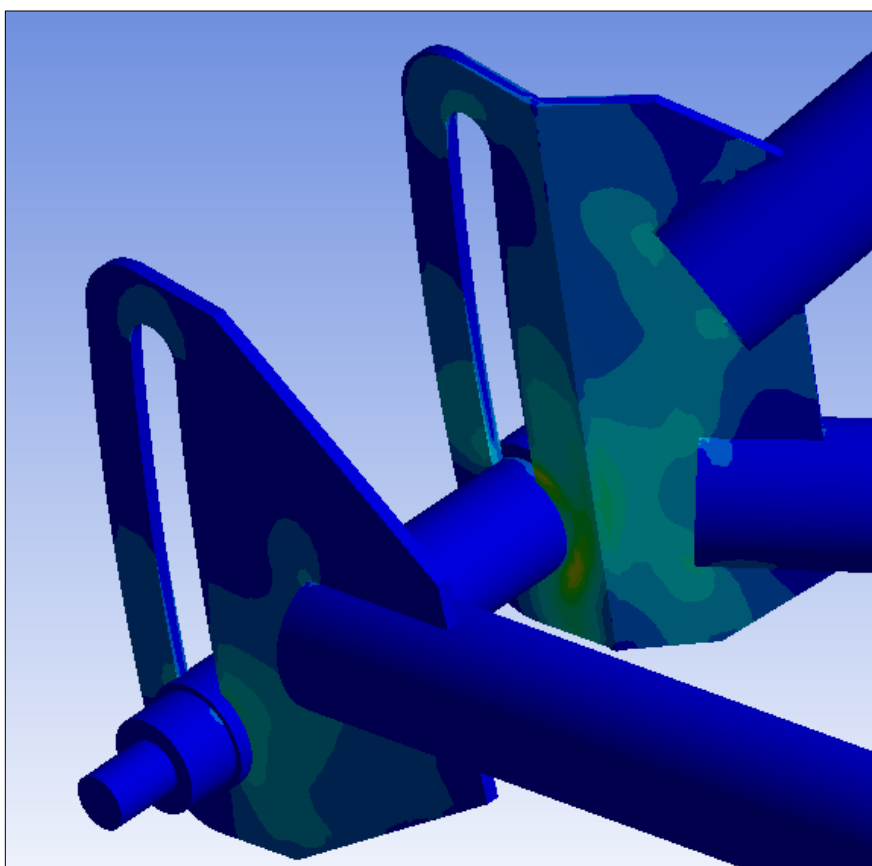


Obr. 40 – Napětí varianty E2 [Autor]

Varianta E2 je po zatížení silami namáhána napětím 350 [MPa]. Nejvíce je namáhána levá strana domku řízení, která dále namáhá levé vzpěry. Průběh napětí je vidět na Obr. 40. Největší napětí je v oblastech svaření plechů a vzpěr. Toto napětí se objevuje i z vnitřní levé strany domku řízení. Detail průběhu napětí je zobrazen níže, na Obr. 41 a Obr. 42.



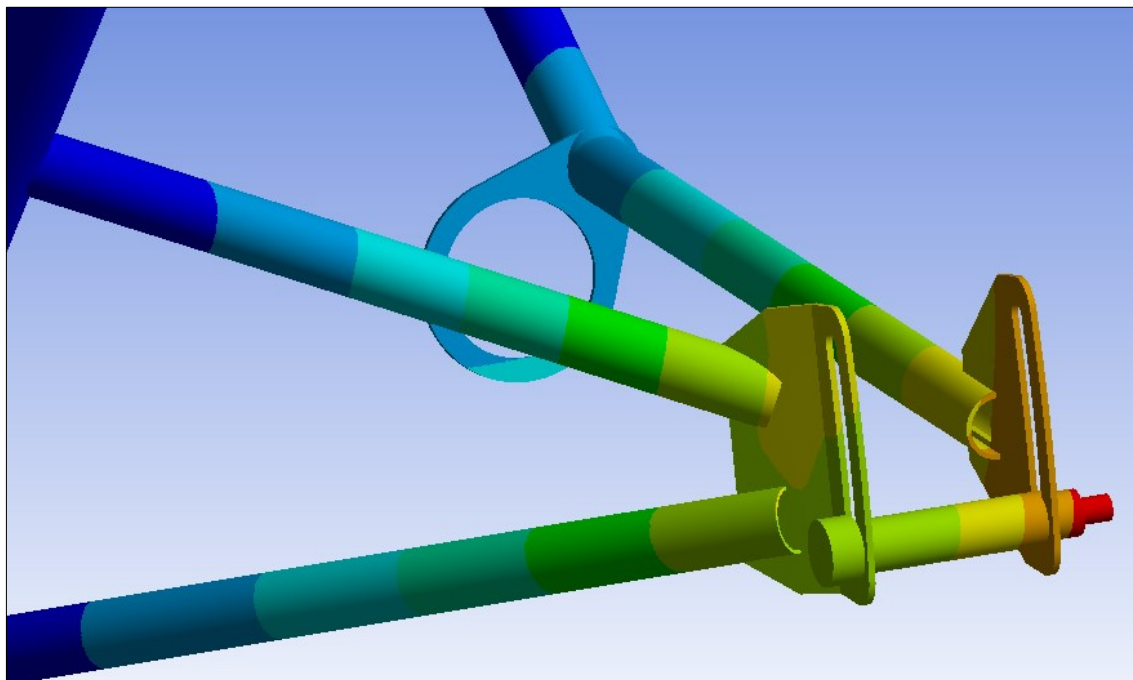
*Obr. 41 – Detail napětí varianty E2 [Autor]*



*Obr. 42 – Detail napětí varianty E2 – zadní strana [Autor]*

## 6.10 Výpočet namáhání MKP pro variantu E3

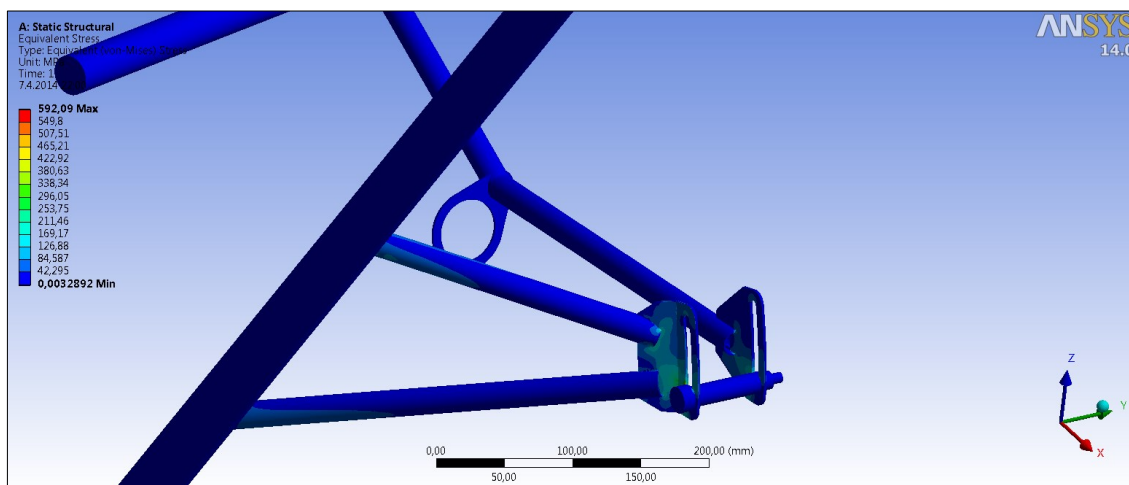
### 6.10.1 Výpočet deformací



*Obr. 43 – Deformace varianty E3 [Autor]*

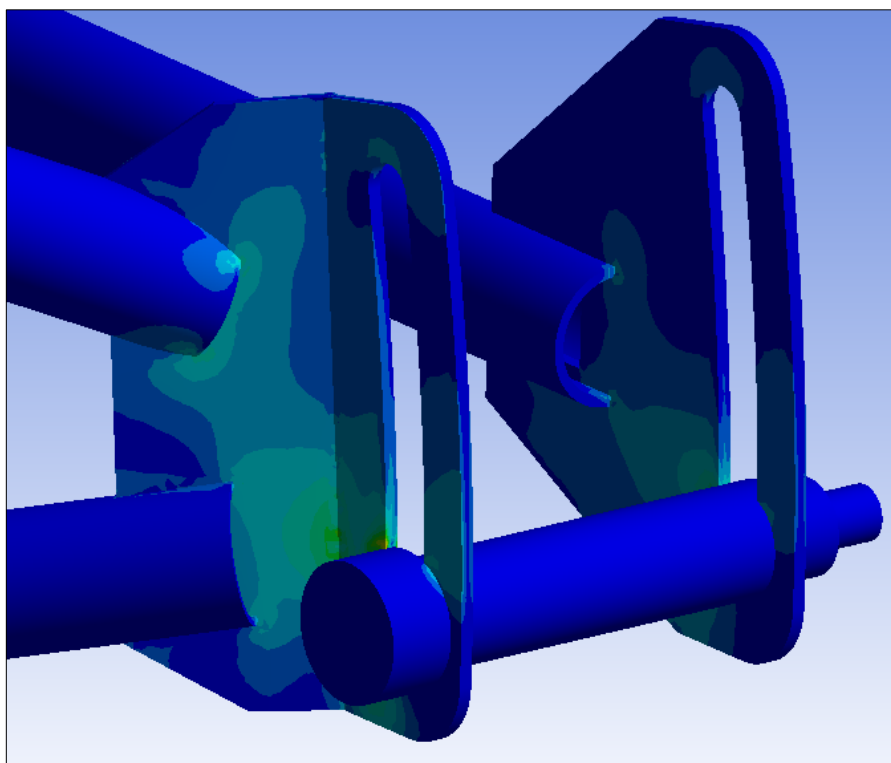
Deformace varianty E3 je rozdílná oproti variantě E2, po odstranění rohové výztuhy mezi pravou vzpěrou a vzpěrou předního zavěšení. Došlo k uspořené hmotnosti, při zachování velikosti deformace 1,1 [mm]. Průběh deformace držáku po zatížení silami je vidět na Obr. 43.

## 6.10.2 Výpočet napětí

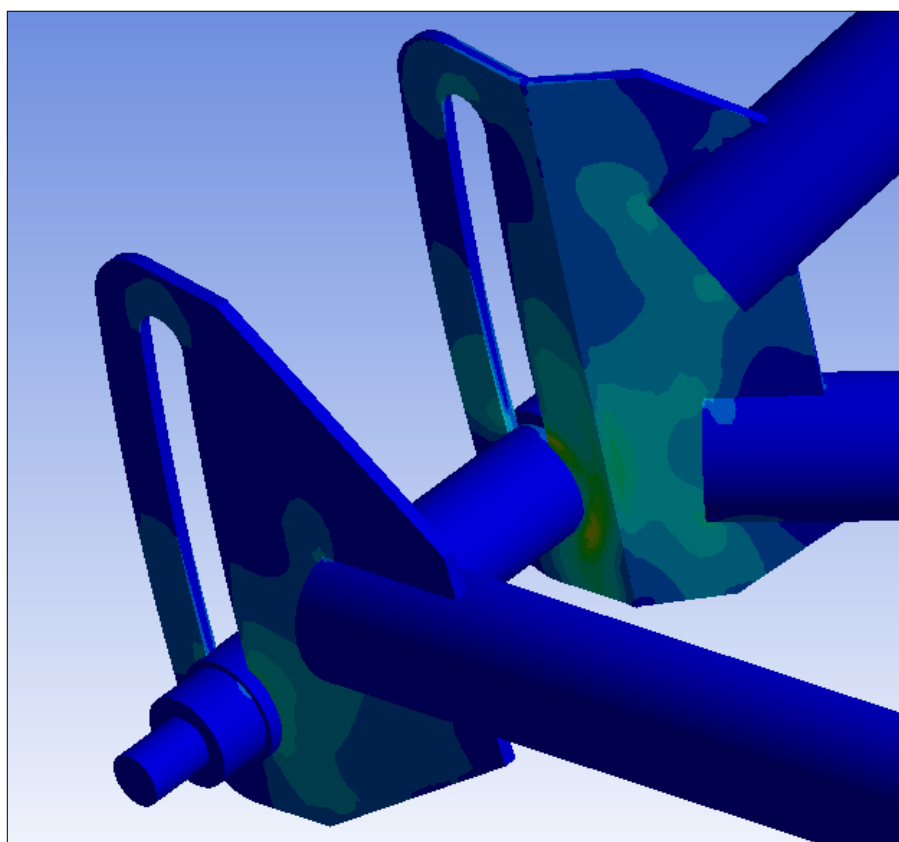


*Obr. 44 – Namáhání varianty E3 [Autor]*

U varianty E3 dochází k deformaci nejvíce v levé části sloupku řízení a dále v místech přivaření trubek a plechů. Napětí nabývá nejvyšší hodnoty 350 [MPa] a to na vnitřní straně ohýbaného plechu levé části domku řízení. Průběh tohoto napětí je zobrazen na Obr. 44. Detail namáhání je pak zobrazen na Obr. 45 a Obr. 46. Je tedy vidět, že plechová úhlová výztuha držáku, kterou jsem odstranil, nemá tak podstatný vliv na namáhání, jako jsem se původně domníval.



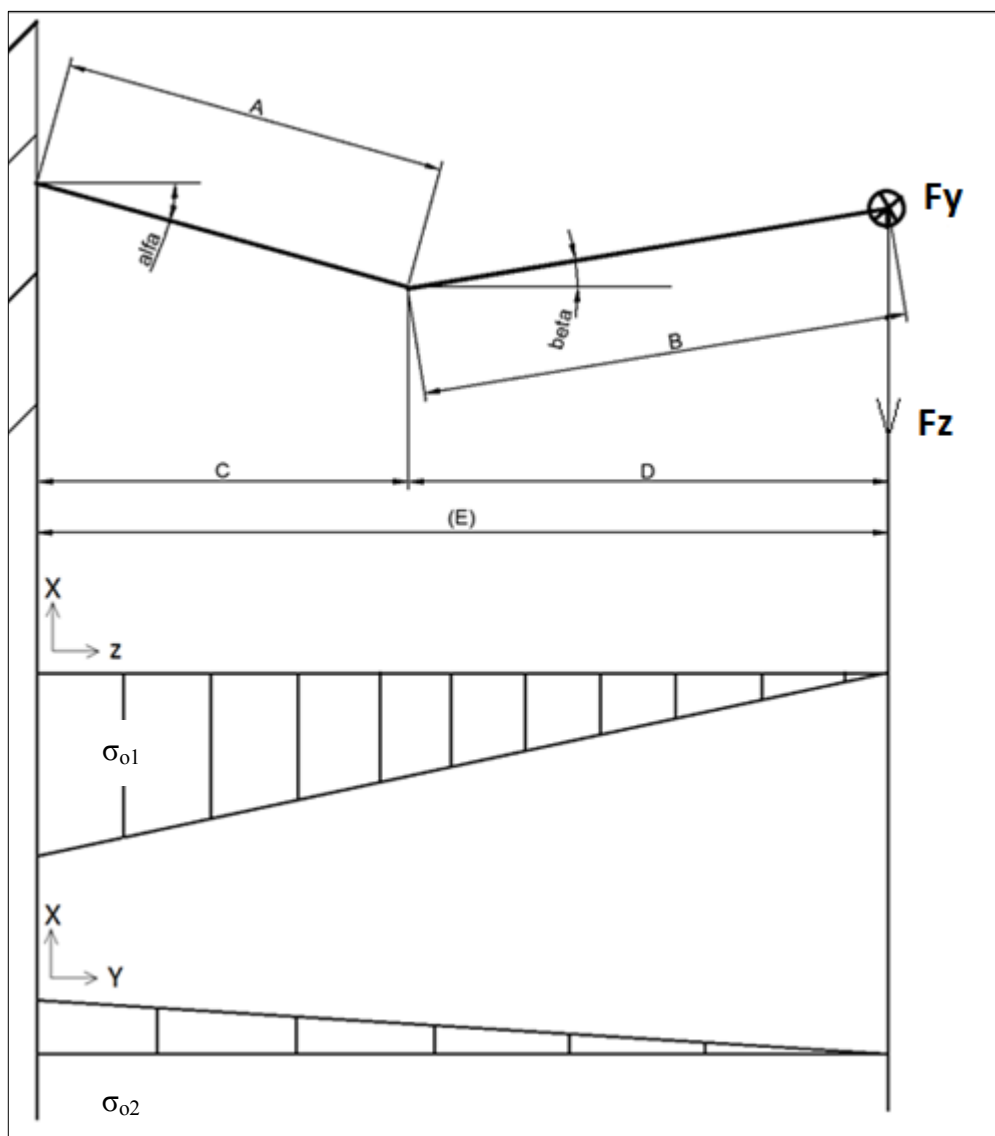
*Obr. 45 – Detail namáhání varianty E3 [Autor]*



*Obr. 46 – Detail namáhání varianty E3 [Autor]*

## 7 Numerický (analytický) výpočet namáhání

Pro výpočet analytickou metodou jsem zvolil, po dohodě s vedoucím práce, výpočet pravé vzpěry držáku sloupku řízení a vytvořil jsem schéma, které je vidět na Obr. 47.



Obr. 47 – Schéma zatížení pravé vzpěry držáku [Autor]



Rozměry ze schématu na Obr. 47 jsou  $A = 230$  [mm],  $B = 350$  [mm],  $\alpha = 22,5^\circ$ ,  $\beta = 8,5^\circ$ .

Po konzultacích s akademickými pracovníky VŠB – TU Ostrava, z katedry pružnosti a pevnosti, jsem se rozhodl danou situaci lomeného nosníku převést na jednoduchý přímý vetknutý nosník. Nosník je namáhán dvojosým ohybem v rovinách  $X - Z$  a  $X - Y$ . Tato situace je zakreslena ve schématu na Obr. 47.

#### **Výpočet promítnuté délky jednotlivých částí:**

$$a = 230 \cdot \cos \alpha = 230 \cdot \cos 22,5^\circ = 212,5 \text{ [mm]} \quad 3)$$

Kde:  $\alpha$  ... úhel levé části výztuhy s vodorovnou osou  $[\circ]$

$$b = 350 \cdot \cos \beta = 350 \cdot \cos 8,5^\circ = 346 \text{ [mm]} \quad 4)$$

Kde:  $\alpha$  ... úhel levé části výztuhy s vodorovnou osou  $[\circ]$

#### **Celková výpočtová délka:**

$$l = a + b = 212,5 + 346 = 558,5 \text{ [mm]} \quad 5)$$

Pro další výpočty předpokládám, že zatěžující síla  $F_Z = 600$  [N] se rozkládá rovnoměrně na obě strany domku držáku řízení a proto snižuji sílu namáhající pravou, numerickým výpočtem kontrolovanou, vzpěru na polovinu. Tedy  $F_Z = 300$  [N].

**Napětí v ohybu v rovině X – Z:**

$$\sigma_{o1} = \frac{F_Z \cdot l}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}} = \frac{300 \cdot 0,5585}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{0,02^4 - 0,018^4}{0,02}} = 620 \text{ [MPa]} \quad 6)$$

Kde:  $F_Z$  ... velikost působící síly [N]

$l$  ... výpočtová délka ramene působící síly [m]

$D$  ... vnější průměr trubky [m]

$d$  ... vnitřní průměr trubky [m]

**Napětí v ohybu v rovině X – Y:**

$$\sigma_{o2} = \frac{F_Y \cdot l}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}} = \frac{60 \cdot 0,5585}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{0,02^4 - 0,018^4}{0,02}} = 124 \text{ [MPa]} \quad 7)$$

**Výpočet redukovaného ohybového napětí:**

Z důvodu, že jde o situaci dvojosé napjatosti je nutné vzniklé (vypočtené) ohybové napětí redukovat a pak jej porovnat s dovolenými hodnotami dle příslušného materiálu.

Pro výpočet redukovaného ohybového napětí  $\sigma_{oRED}$  vycházím z hypotézy HMM, kterou také používá software Ansys Workbench, abych dospěl ke srovnatelným hodnotám ohybového napětí.

$$\sigma_{oRED} = \sqrt{\sigma_{o1}^2 + \sigma_{o2}^2 - (\sigma_{o1} \cdot \sigma_{o2})} \quad 8)$$

$$\sigma_{oRED} = \sqrt{620^2 + 124^2 - (620 \cdot 124)} = 570 \text{ [MPa]}$$

**Dovolené napětí v ohybu:**

$$\sigma_{ODOV} = \frac{R_e}{k} \text{ [MPa]} \quad 9)$$

### Kontrola namáhání:

Po výpočtu redukovaného napětí je nutné zkontrolovat, zda je splněna podmínka pevnosti, vyjádřená ve vzorci 10).

$$\sigma_{oRED} \leq \sigma_{ODOV}$$
$$570 \text{ [MPa]} \leq 695 \text{ [MPa]}$$
10)

Z výše provedeného zjednodušeného výpočtu namáhání pravé části držáku, konkrétně trubkové vzpěry, je zřejmé, že navrhované rozměry trubky  $\varnothing 20 \times 1$  [mm] vyhovují z hlediska pevnosti, protože spočtené redukované napětí  $\sigma_{oRED} = 570$  [MPa] je nižší než hodnota  $\sigma_{ODOV} = 695$  [MPa], zvolená jako střední hodnota mezi minimálním napětím materiálu 15CdV6 a 25CrMo4.

Dále je možné si všimnout, že v předchozích výpočtech MKP u všech variant, je pravá vzpěra téměř bez namáhání. To je způsobeno přenosem napětí do kratší a tužší větve držáku, tedy na levou stranu, u které nejsem schopen numericky správně vyčíslit průběh napětí.

V Tabulka 12 jsem porovnal výsledné hodnoty maximálního napětí z numerického výpočtu a výsledné hodnoty maximálního napětí, z výpočtu provedeného v simulačním softwaru Ansys Workbench metodou konečných prvků.

*Tabulka 12 – Prokázání validního modelu [Autor]*

Varianta	Výpočet maximálního napětí metodou konečných prvků [MPa]	Numerický výpočet maximálního napětí [MPa]
E	895	570
E1	963	
E2	584	
E3	592	

Z výše uvedené tabulky je patrné, že modely variant E a E1 jsou významně vzdáleny od výsledku zjednodušeného numerického výpočtu. Tedy není možné je prohlásit za validní. Bylo by vhodné například zhustit síť prvků, to ovšem zvyšuje nároky na výpočetní výkon počítače a čas výpočtu. Varianty E2 a E3 se odchylují od zjednodušeného výpočtu jen nepatrně (do 20 [MPa]). Jak jsem již uvedl, jedná se o zjednodušený numerický výpočet a, je nutné k němu tak i přistupovat. V této situaci mohou prohlásit modely E2 a E3 za validní.

## **8 Technologie výroby držáku**

### **8.1 Materiálové vlastnosti**

#### **8.1.1 Ocel – volba jakosti oceli**

Pro výrobu je důležité, aby materiál měl dobrou obrobitelnost a především svařitelnost. Svařitelnost a tedy i materiál a jeho vlastnosti, by na použitém držáku sloupku měl být co nejbližší, již použitému materiálu na ochranný rám, kam bude držák přivařen, ne-li být stejný, jako je materiál použitý u ochranného rámu ve vozidle.

Materiál, držáku sloupku řízení, je vhodné volit s ohledem na materiál použitý na ochranném rámu závodního automobilu. Tato volba je nutná jak z hlediska pevnosti, tuhosti a ceny, tak hlavně z hlediska montáže a vyrobitelnosti. Je tedy nejvhodnější volit materiál s mechanickými vlastnostmi a chemickým složením co nejbližší materiálu ochranného rámu, nejlépe však volit materiál stejný. Vyrobitelnost ohýbaných součástí je nutné zajistit tažností materiálu A, která by měla mít hodnotu větší než 10[%]. Z výše uvedených důvodů volím materiál trubek 25CrMo4 a materiál plechů 15CdV6, jejichž materiálové vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v kapitole 5.1.

#### **8.1.2 Přídavný materiál – volba dle vlastností základního materiálu**

Přídavný materiál je nutné volit tak, aby se svým složením a mechanickými vlastnostmi blížil materiálu svařovanému. Přídavný materiál se dodává ve formě plného nebo plněného drátu a je navinut na cívce. Plné dráty se vyrábí v průměrech 0,6 [mm]; 0,8 [mm]; 1 [mm]; 1,2[mm]; 1,6 [mm]; 2 [mm] a 2,4 [mm]. Nejčastěji používané jsou 0,8 – 1,6 [mm].

Plněné dráty mají různé složení pro různé svařovací vlastnosti. Plášť je z nízkouhlíkové oceli a náplň tvoří bazické, kyselé, rutilové, fluoridové struskotvorné přísady a také legující ionizační a dezoxidační přísady. [23]

Volím přídavný materiál pro svařování EN ISO 21952-A: G CrMo1Si. Označení u firmy ESAB VAMBERK, s.r.o. AristoRod 12.13 a s chemickým složením viz. Tabulka 13 a mechanickými vlastnostmi viz. Tabulka 14. Další specifikace přídavného materiálu jsou uvedeny v Příloze D.

*Tabulka 13 – Chemické složení [26]*

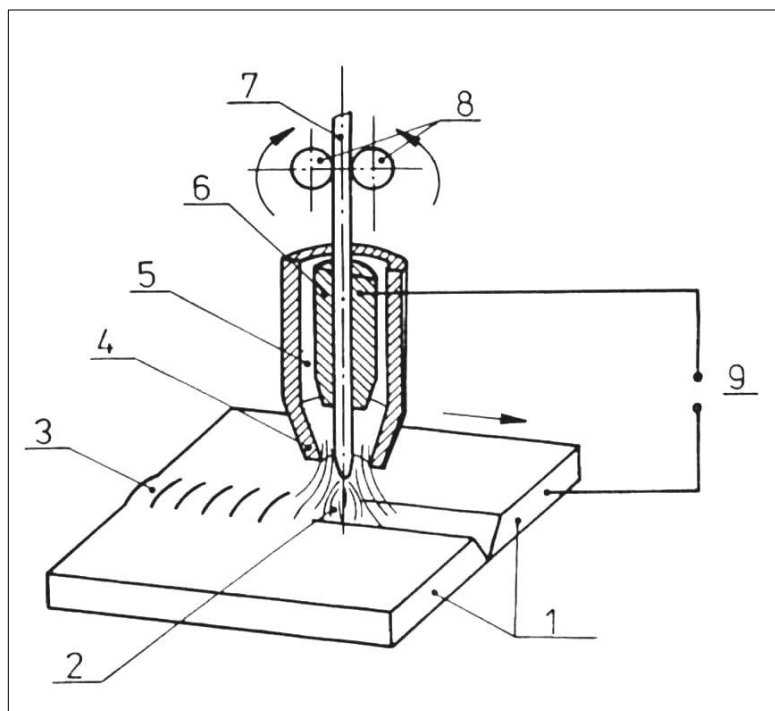
C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Mo [%]
0,10	1,00	0,60	1,10	0,50

*Tabulka 14 – Mechanické vlastnosti [26]*

Mez kluzu Re [MPa]	670
Mez pevnosti Rm [MPa]	785
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	18

## 8.2 Metoda svařování MAG

Metoda se vyznačuje svařováním odtavující se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu, s označením technologie 135. Jde o poloautomatické svařování, kdy je automaticky podáván přídatný materiál a vpouštěn aktivní plyn a manuálně svařováno. Při použití materiálu oceli, s obsahem uhlíku větším než 0,22 [%], je nutný lokální přehřev v místě svaru na teplotu cca 80 [°C], pro předejití vzniku studených svarů.



*Obr. 48 – Metoda svařování MAG, 1 – svařovaný materiál, 2 – elektrický oblouk, 3 – svar, 4 – plynová hubice, 5 – ochranný plyn, 6 – kontaktní průvlek, 7 – přídatný materiál, 8 – podávací kladky, 9 – zdroj proudu [23]*

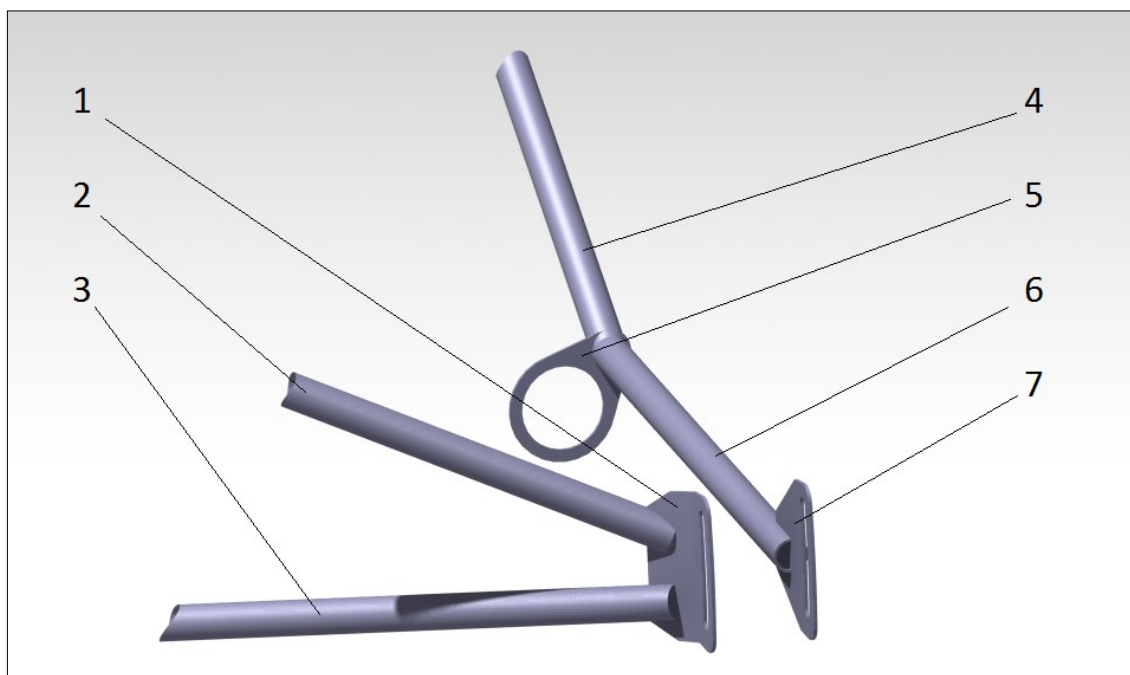
Aktivní plyn plní ochrannou funkci (zamezuje přístupu vzduchu ke svarové lázni) a vstupuje do chemických reakcí ve svarové lázni. Plyn se tedy aktivně podílí na chemických procesech, které probíhají v roztaveném kovu. Nejčastěji se jako aktivní plyny používají  $\text{CO}_2$ , směs  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2$  nebo vícesložkové směsi na bázi argonu.

$\text{CO}_2$  neboli oxid uhličitý je používaný nejčastěji, v malých provozech a při hobby svařování. Je pravděpodobně nejoblíbenější, kvůli své dostupnosti a nízké ceně. Z hlediska svařování jej překonaly aktivní směsné plyny na bázi argonu.  $\text{CO}_2$  dovoluje dobrý průvar materiálu, ale nevhodně podporuje formování oxidů a karbidů, které nepříznivě ovlivňují mechanické vlastnosti svarů. Při svařování s  $\text{CO}_2$ , je na elektrickém oblouku vysoké napětí a z toho plyne tedy velký rozstřík. Oxid uhličitý je vhodný ke svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Není vhodný pro vysocelegované oceli a nerez.

Příklady dalších směsí ochranných plynů, jako např.:  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2$  a vícesložkových směsí a vady svarů, jsou uvedeny v Příloze C. [23]

### 8.3 Rozpis použitých dílů pro vyráběnou variantu

Pro přehlednost výroby a návrhu technologického postupu jsem technologii výroby zohlednil rozpisem použitých dílů – viz. Tabulka 15, která slouží jako podklad pro tvorbu technologického postupu ohýbané součásti, který je uveden v Příloze E. Názorně jsou díly rozpisu zobrazeny na Obr. 49.



Obr. 49 – Zobrazení jednotlivých dílů vyráběné varianty, 1 – Plech A, 2 – Vzpěra A, 3 – Vzpěra B, 4 – Vzpěra C, 5 – Plech B, 6 – Vzpěra D, 7 – Plech C [Autor]

Tabulka 15 – Rozpis dílů [Autor]

č.	Název dílu	Výroba dílu	Materiál dílu	Produkční díl
1	Plech A	Řezání laserem	15CdV6	Ne
2	Vzpěra A	Řezání laserem	25CrMo4	Ne
3	Vzpěra B	Řezání laserem	25CrMo4	Ne
4	Vzpěra C	Řezání laserem	25CrMo4	Ne
5	Plech B	Řezání laserem	15CdV6	Ne
6	Vzpěra D	Řezání laserem	25CrMo4	Ne
7	Plech C	Řezání laserem	15CdV6	Ne
8	Svařenec A (Vzpěra A + Vzpěra B + Plech A)	Svařování MAG	25CrMo4 15CdV6	Ne
9	Svařenec B (Vzpěra C + Plech B + Vzpěra D)	Svařování MAG	25CrMo4 15CdV6	Ne

## 9 Komplexní hodnocení kvalitativních a ekonomických vlastností řešení a stanovení nejvýhodnější varianty

Cena polotovaru plechu materiálu 15CdV6 o tloušťce 1,5 [mm] a ploše 1 [m<sup>2</sup>] je přibližně 10200 [Kč]. Cena polotovarů trubek je cca 650 [Kč] za 1 [m]. Uvedené ceny platí pro velkoodběratele.

Původní varianta dosahuje vysoké tuhosti, která se projevuje nízkou maximální deformací – 0,9 [mm]. Dále je varianta charakterizována vysokou náročností a tedy špatnou proveditelností, při hmotnosti držáku sloupku řízení 1,284 [kg], její ceně 1327 [Kč] a maximálním napětím 80 [MPa].

Varianta C se projevuje nízkou tuhostí, projevující se maximální deformací 7 [mm]. Maximální napětí při této deformaci dosahuje hodnoty 700 [MPa]. Konstrukce držáku je náročná a tedy špatně proveditelná, což zvyšuje jeho cenu – 1658 [Kč]. Hmotnost držáku sloupku řízení je 1,078 [kg].

Varianta E se vyznačuje velmi jednoduchou konstrukcí, což zvyšuje její proveditelnost a snižuje její cenu – 778 [Kč]. Držák se vyznačuje maximální deformací 3,0 [mm] při maximálním napětí 350 [MPa]. Hmotnost držáku sloupku řízení je 0,778 [kg].

Varianta E1 se vyznačuje dobrou proveditelností, což má vliv na její výslednou cenu 802 [Kč]. Její deformace je 2,5 [mm] při maximálním napětí 300 [MPa]. Hmotnost držáku sloupku řízení je pak 0,882 [kg].

Varianta E2 je charakteristická dobrou vyrobiteľností a jí odpovídající přibližné ceně 850 [Kč]. Konstrukce se při zatížení deformuje o 1,1 [mm] a vzniká v ní napětí 350 [MPa]. Její hmotnost je 0,513 [kg] a cena materiálu držáku je 812 [Kč].

Varianta E3 je konstrukčně jednodušší, tedy snadněji vyrobiteľná a levnější – 772 [Kč]. Dále se při zatížení deformuje o 1,1 [mm] s maximálním napětím 350 [MPa]. Její výsledná hmotnost činí 0,485 [kg].

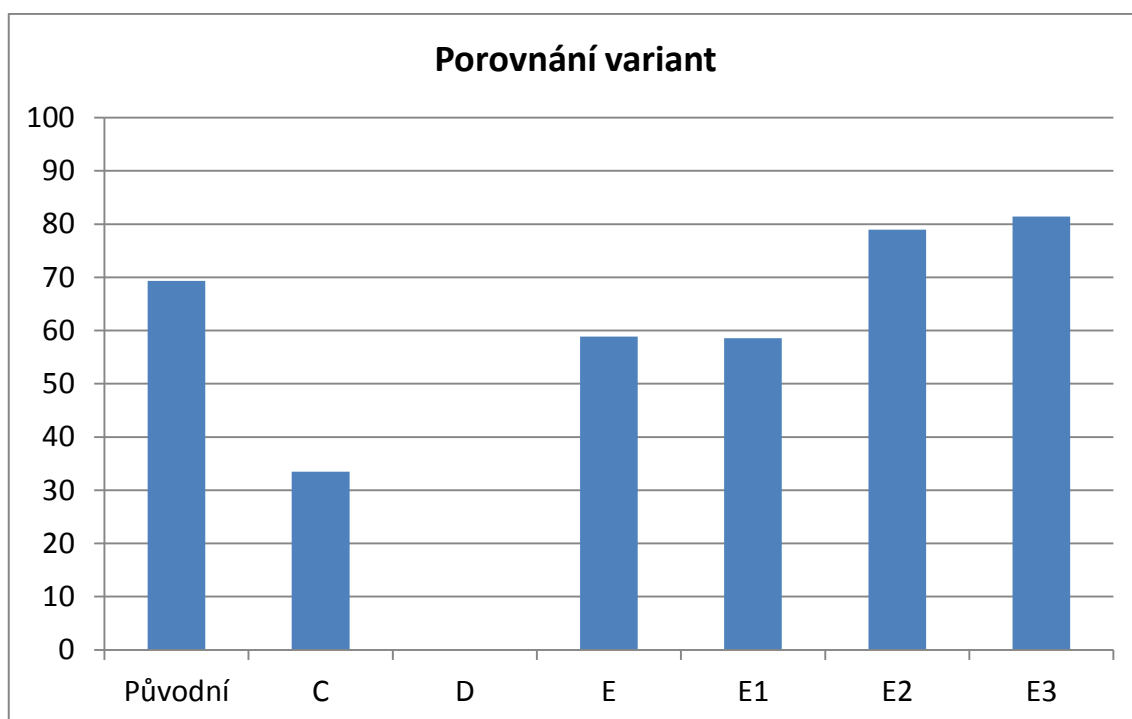


Stanovení nejvýhodnější varianty, z výše navržených a zatížených variant, jsem provedl na základě tří metod vícekritériálního rozhodování a konzultací s akademickými pracovníky VŠB – TU Ostrava. Pro rozhodování jsem použil metodu alokace 100 bodů, metodu párového porovnání a metodu preferenčního pořadí, jejichž metodika je vysvětlena v Příloze B. Hodnotící Tabulka 23 je zobrazena v Příloze B. Výsledky jsem graficky zpracoval do následujícího Graf 2.

Varianty jsem hodnotil přes kritéria – hmotnost, napětí, deformace, tuhost, cena, technologie a montáž.

Optimalizačními kritérii pak byly:

- Minimalizovat hmotnost
- Maximalizovat tuhost
- Minimalizovat cenu
- Minimalizovat náročnost technologie
- Minimalizovat náročnost montáže



*Graf 2 – Porovnání variant pořadím výsledků použitých metod [Autor]*

Z grafu je patrné, že nejvhodnější variantou ke konstrukci a zástavbě do závodního vozidla, je varianta E3. Vyznačuje se maximální úsporou hmotnosti. Proti původní variantě, jde o přibližnou úsporu 62 [%] (cca 800 [g]). Konstrukce je relativně jednoduchá, pro zvýšení úspory času při sestavování držáku a tím i snížení pracovního času svářeče a tím i ceny jeho práce. Deformace držáku při stejném zatížení se zvýšila o cca 22 [%] (0,2 [mm]). Maximální napětí držáku se pohybuje cca na hodnotě 350 [MPa], což sice představuje výrazný nárůst namáhání držáku oproti původní variantě, ovšem stále dostatečně daleko od meze kluzu zvoleného materiálu, kde  $R_e = \min. 600$  [MPa]. Z této skutečnosti vyplývá koeficient bezpečnosti  $k = 1,7$ . To představuje 70 [%] rezervu v namáhání, která by měla zajistit dostatek prostoru na dynamické namáhání nebo na namáhání rázem. Výsledkem tedy je, že jsem splnil zadané požadavky a úspěšně optimalizoval původní variantu.

## 10 Závěr

V diplomové práci byla představena problematika návrhu držáku sloupku řízení závodního automobilu. V současnosti tímto návrhem musí projít každý konstruktér závodních vozidel, pokud je držák navrhován pro nové vozidlo.

Při zadání jsem vycházel ze zástavbových rozměrů a ergonomie řidiče. Vytvořil jsem celkem 7 nových variant držáků sloupku řízení, které splňují technické předpisy FIA i technické specifikace zadavatele. Následně jsem vybral varianty vhodné pro analýzu metodou konečných prvků. U držáků jsem provedl analýzu deformace a namáhání 7 variant, z toho 5-ti vlastních a 2 variant zadavatele, metodou konečných prvků v softwaru Ansys Workbench. Provedl jsem zjednodušený numerický výpočet pravé vzpěry držáku. Z výsledků výpočtu vyplývá, že modely namáhání jsou validní, protože jsem dosáhl přibližně stejných hodnot namáhání jako při numerickém výpočtu. Dále jsem navrhl materiál držáku sloupku řízení a technologii jeho výroby. Technologie výroby, ohýbané součásti držáku, je zobrazena technologickým postupem.

V závěrečné části práce jsem v tabulce porovnal všech 7 analyzovaných variant držáků sloupku řízení. Na základě metody alokace 100 bodů, metody párového porovnání a metody preferenčního pořadí, jsem vybral nejvýhodnější – finální variantu E3. Při zpracování DP jsem využíval CAD software CATIA V5. Ten jsem použil, jak při návrhu konstrukčního řešení, tak při zjišťování délky polotovarů a celkové hmotnosti držáku a následné kalkulace ceny polotovaru. Výstupem práce je 3D model držáku sloupku řízení (Příloha F), výrobní dokumentace držáku sloupku řízení (Příloha G) a technologický postup výroby ohýbané součásti držáku (Příloha E).

V práci jsem také využil software Ansys Workbench, pro výpočet zatížení a deformací jednotlivých variant držáků sloupku řízení metodou konečných prvků. Výsledky výpočtu metodou konečných prvků průběhů napětí a deformací tvořily základ pro rozhodování při volbě nejvýhodnější varianty.

## Seznam použitých zdrojů

- [2] ŠKODA AUTO, a.s. *ŠKODA Motorsport - ŠKODA Fabia Super 2000 - ŠKODA*: [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://new.skoda-auto.com/cs/motorsport/cars/fabia-s2000>>
- [3] *Prezentace Škoda Motorsport* [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <[http://k616.fd.cvut.cz/vyuka/mgr/16PDP/prednasky/posledni/12a\\_Motorsport%202013\\_cj\\_final\\_skripta.pdf](http://k616.fd.cvut.cz/vyuka/mgr/16PDP/prednasky/posledni/12a_Motorsport%202013_cj_final_skripta.pdf)>
- [4] 8. *BEZPEČNOST POSÁDKY VOZIDLA - 08-bezpecnost-posadky-vozidla-pdf-p67169*: [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.vutbr.cz/usi/dokumenty/dokumenty-ke-stazeni-f23776/bezpecnost-vozidel-silnicniho-provozu-materialy-k-predmetu-d75943/08-bezpecnost-posadky-vozidla-pdf-p67169>>
- [5] *Paris 2010: Mini Countryman WRC Photo Gallery - Autoblog*: [online], poslední revize 9.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.autoblog.com/photos/paris-2010-mini-countryman-wrc/#photo-271730>>
- [6] *Citroen C4 WRC HYbrid4 Picture #11*: [online], poslední revize 9.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.automobilesreview.com/gallery/citroen-c4-wrc-hybrid4/citroen-c4-wrc-hybrid4-11.jpg>>
- [7] *Ford Fiesta RS WRC picture # 11 of 14, Interior, MY 2011, 1600x1200*: [online], poslední revize 9.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <[http://www.netcarshow.com/ford/2011-fiesta\\_rs\\_wrc/1600x1200/wallpaper\\_0b.htm](http://www.netcarshow.com/ford/2011-fiesta_rs_wrc/1600x1200/wallpaper_0b.htm)>
- [8] *Chris-Atkinson-3-625x416.jpg (JPEG obrázek, 625 × 416 bodů)*: [online], poslední revize 29.7.2013 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW:

<<http://cdn.caradvice.com.au/wp-content/uploads/2013/07/Chris-Atkinson-3-625x416.jpg>>

- [9] *2013-volkswagen-polo-r-wrc-cabin-interior-wallpaper-hd-7.jpg (JPEG obrázek, 1024 × 681 bodů) - Měřítko (88%):* [online], poslední revize 17.12.2012 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.autocarbike.com/wp-content/uploads/2012/12/2013-volkswagen-polo-r-wrc-cabin-interior-wallpaper-hd-7.jpg>>
- [10] EHK/OSN č. 79, *JEDNOTNÁ USTANOVENÍ PRO SCHVALOVÁNÍ TYPU VOZIDEL Z HLEDISKA MECHANISMU ŘÍZENÍ.* [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:137:0025:0051:EN:PDF>>
- [11] *Příloha J mezinárodního sportovního řádu* (překlad) FIA, vydala Federace Automobilového sportu AČR, 2014
- [12] *Ergonomie | autolexicon.net:* [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/ergonomie/>>
- [13] *Řízení motorového vozidla a ergonomie | BOZP Profi:* [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.bozpprofi.cz/?cid=253196>>
- [14] Ing. DRESLER, Pavel. *Konzultace s posádkou vozidla.*
- [15] HORŇÁČEK, Lukáš. *Ochranný rám závodního automobilu.* Bakalářská práce, 1. Vydání, Ostrava, 2012. 77 s.
- [16] *CATIA V5 - Idiada:* [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.idiada.cz/catia-v5.html>>
- [17] *Přehled vlastností oceli 25CrMo4:* [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-

- 2014]. Dostupné z WWW: <[http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled\\_vlast\\_25CrMo4](http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_25CrMo4)>
- [18] *Alloy 15CDV6 / WS 1.7734*: [online], poslední revize 27.1.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.aircraftmaterials.com/data/alstst/15cdv6.html>>
- [19] *Aircraft Steel BS T45/4T45 Tube*: [online], poslední revize 27.1.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.aircraftmaterials.com/data/alstst/T45.html>>
- [20] *AISI 4130 Alloy Steel (UNS G41300)*: [online], poslední revize 10.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6742>>
- [21] *201\_Docol DP DL.pdf*: [online], poslední revize 19.3.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <[http://www.ssab.com/Global/DOCOL/datasheets\\_docol/en/201\\_Docol%20DP%20DL.pdf](http://www.ssab.com/Global/DOCOL/datasheets_docol/en/201_Docol%20DP%20DL.pdf)>
- [22] Bc. ŠMIRAUS, Jakub. *Konstrukční řešení systému aktivní změny geometrie motocyklu*, Diplomová práce, 1. Vydání, Ostrava, 2011. 106 s.
- [23] *cvičení11\_prezetace.pdf*: [online], poslední revize 4.5.2010 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD11\\_prezetace.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD11_prezetace.pdf)>
- [24] *eWRC.cz - po všech stránkách rally...*: [online], poslední revize 9.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <[http://www.ewrc.cz/ewrc/image\\_browse.php?id=120165](http://www.ewrc.cz/ewrc/image_browse.php?id=120165)>
- [25] *eWRC.cz - po všech stránkách rally...*: [online], poslední revize 9.4.2014 [cit.

10-4-2014]. Dostupné z WWW: <[http://www.ewrc.cz/ewrc/image\\_browse.php?id=135461](http://www.ewrc.cz/ewrc/image_browse.php?id=135461)>

[26] *OK AristoRod™ 13.12*: [online], poslední revize 9.4.2014 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=125107>>

[27] *HODNOCENÍ KVALITY PŘEMÍSTĚNÍ V MHD*, [online], poslední revize 12.11.2006 [cit. 10-4-2014]. Dostupné z WWW: <<http://kds.vsb.cz/mhd/kvalitavahy.htm>>

## **Seznam příloh na CD**

[1] Text diplomové práce ... Hornacek\_Lukas\_text\_DP.pdf

[2] Používaná konstrukční řešení ... PKR.rar

## **Seznam příloh**

Příloha A – Používaná konstrukční řešení

Příloha B – Metodika vícekritériálního hodnocení variant

Příloha C – Vady svarů a směsi ochranných plynů pro svařování

Příloha D – Specifikace přídavného materiálu

Příloha E – Technologický postup výroby ohýbané součásti

Příloha F – 3D model držáku sloupku řízení

Příloha G – Výkresová dokumentace



## Příloha A – Používaná konstrukční řešení



*Sloupek řízení ve vozidle MINI [24]*



*Sloupek řízení ve vozidle Citroën [25]*

## **Příloha B – metodika vícekritériálního hodnocení variant**

### Stanovení vah kritérií

U metod komplexního hodnocení je nutné stanovit váhy jednotlivých kritérií hodnocení, které číselně vyjadřují velikost významu těchto kritérií (důležitost z pohledu řešitele). Čím je pro hodnotitele kritérium významnější, tím má větší váhu. Pro dosažení srovnání vah v souboru kritérií, stanovených různými metodami, se váhy normují tak, že jejich součet je roven jedné. Existuje mnoho metod pro stanovení vah kritérií, které se liší ve složitosti výpočtu a srozumitelnosti pro řešitele, a také odlišnou náročností na typ informací, které je od hodnotitele nutné získat. Mezi metody stanovení vah kritérií: patří metoda párového porovnání, metoda alokace 100 bodů, metoda stanovení preferenčního pořadí, Saatyho metoda a metoda postupného rozvrhu vah. Posledními dvěma uvedenými metodami se nebudu dále zabývat.

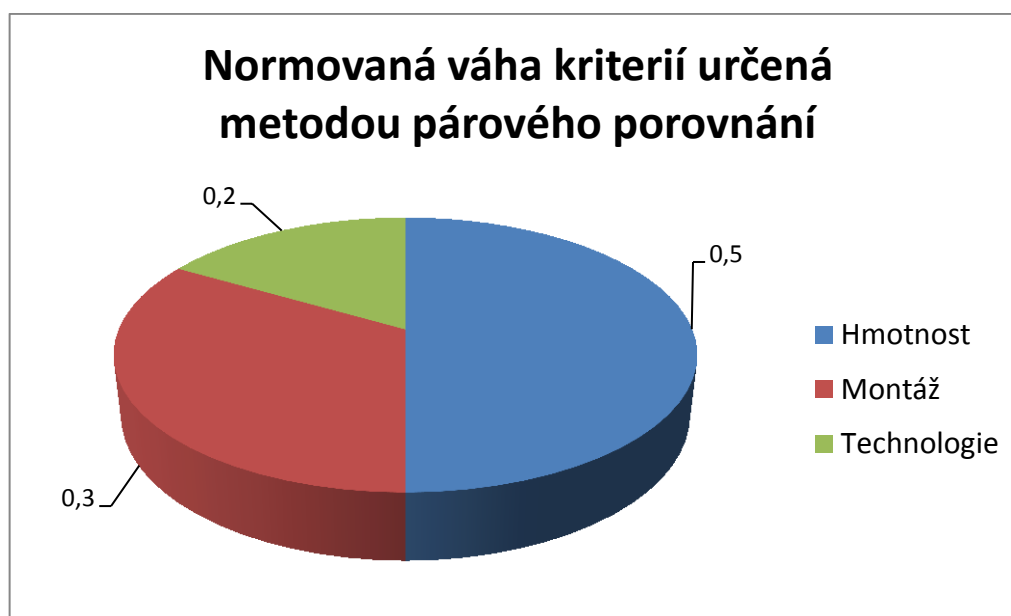
### **Metoda párového porovnání**

Metoda spočívá ve zjištění preferenčních vztahů mezi kritérii. Zjišťujeme počet preferencí pro každé kritérium vzhledem k ostatním kritériím. Určování preferencí probíhá dle Tabulka 16 a Tabulka 17.

V pravé horní části tabulky kritérií (horní trojúhelníkové matice) zjišťuji u dvojic kritérií, jestli preferuji kritérium v řádku před kritériem ve sloupci. Pokud ano, zapíši do příslušné buňky tabulky číslo kritéria, které preferuji. Tedy číslo sloupce nebo řádku. Při vyhodnocení, se pro každé kritérium stanoví počet jeho preferencí  $f_i$ , který je roven součtu jeho preferencí v řádku a sloupci příslušného kritéria. Pokud nastane situace, že některá kritéria mají stejný počet preferencí, pak je nutné brát v úvahu směr preference těchto dvojic kritérií. Podle počtu kritérií určíme jeho pořadí v souboru kritérií. [27]

Tabulka 16 – Párové porovnání kritérií pro koncepční varianty [Autor]

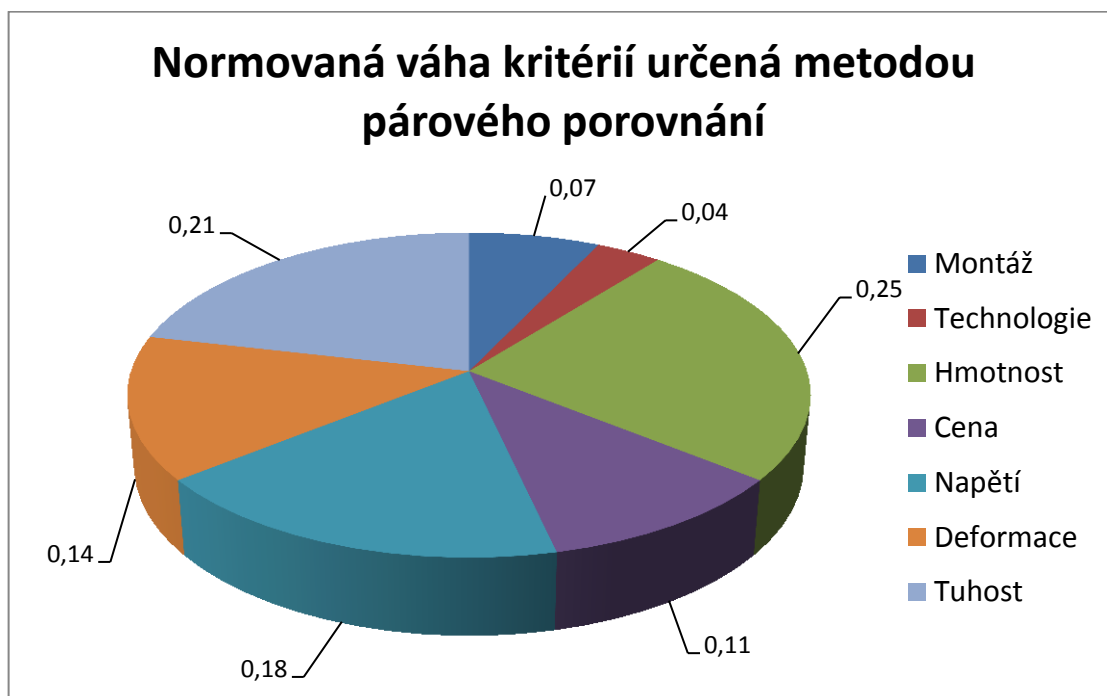
	k	1	2	3				
k		Hmotnost	Montáž	Technologie	Počet pref.	Pořadí kritéria	Nenorm. váha	Norm. váha
1	Hmotnost		1	1	2	1	3	0,5
2	Montáž			2	1	2	2	0,3
3	Technologie				0	3	1	0,2



Graf 3 – Normovaná váha kritérií pro koncepční varianty metodou párového porovnání [Autor]

Tabulka 17 – Párové porovnání kritérií pro celkové hodnocení variant [Autor]

	k	1	2	3	4	5	6	7				
k		Montáž	Techn.	Hmot.	Cena	Napětí	Def.	Tuhost	Počet pref.	Pořadí kritéria	Nenorm. váha	Norm. váha
1	Montáž		1	3	4	5	6	7	1	6	2	0,07
2	Technologie			3	4	5	6	7	0	7	1	0,04
3	Hmotnost				3	3	3	3	6	1	7	0,25
4	Cena					5	6	7	2	5	3	0,11
5	Napětí						5	7	4	3	5	0,18
6	Deformace							7	3	4	4	0,14
7	Tuhost								5	2	6	0,21



*Graf 4 – Graf normovaných vah kritérií pro celkové hodnocení variant určených metodou párového porovnání [Autor]*

Vztah pro stanovení nenormované váhy:

$$k_i = n + 1 - p_i \quad 11)$$

Kde:  $k_i$  ... nenormovaná váha  $i$ -tého kritéria [-]

$n$  ... počet kritérií

$p_i$  ... pořadí  $i$ -tého kritéria v jeho preferenčním uspořádání

Ve vzorci (11) přičítáme číslo 1, protože pokud je počet preferencí, některého z kritérií nulový byla by v případě nepřičtení čísla 1 jeho váha nulová, i když se nemusí jednat o bezvýznamné kritérium. Váhy je dále nutné normovat, abychom měli představu o srovnatelnosti vah, stanovených různými metodami. Součet normovaných vah kritérií je roven jedné. [27]

Normování vah kritérií stanovíme vztahem:

$$v_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad 12)$$

Kde:  $v_i$  ... normovaná váha i-tého kritéria [-]

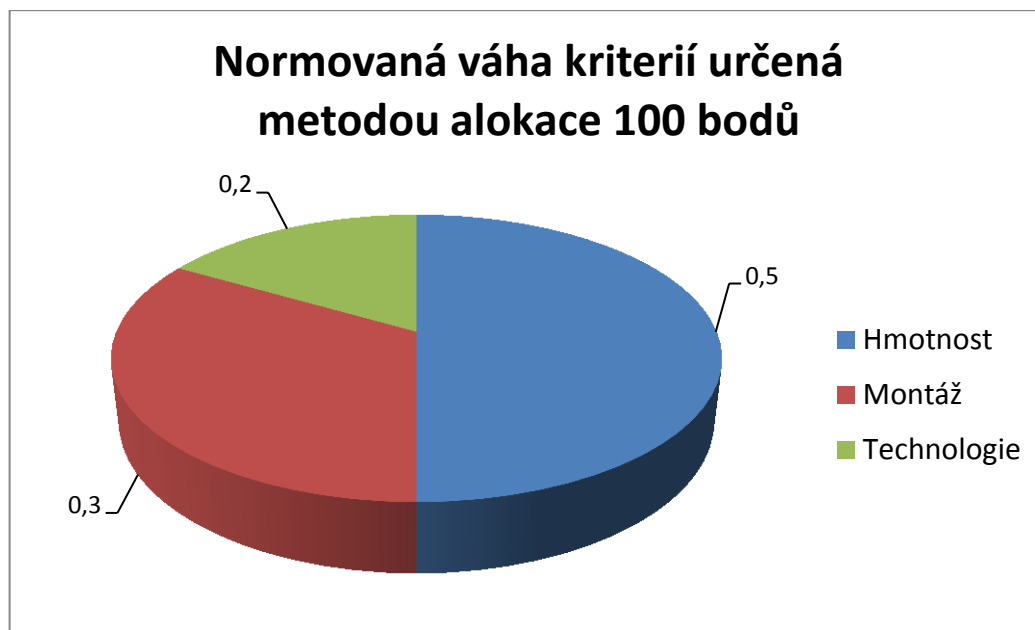
$k_i$  ... nenormovaná váha i-tého kritéria  $n$  ... počet kritérií

### Metoda alokace 100 bodů

Metoda spočívá v tom, že hodnotitel má k dispozici 100 bodů. Body se rozdělí mezi kritéria v souladu s jejich významností. Nenormovaná váha každého kritéria je určena počtem přidělených bodů a zároveň součet rozdělených bodů je roven právě 100. Pro stanovení nenormované váhy použijí vztah (11). Při normování nenormovaných vah pak použijí vztah (12), přičemž součet vah musí být opět roven právě jedné. Alokace 100 bodů probíhá dle Tabulka 18 a Tabulka 19. [27]

*Tabulka 18 – Alokace 100 bodů u kritérií koncepčních variant [Autor]*

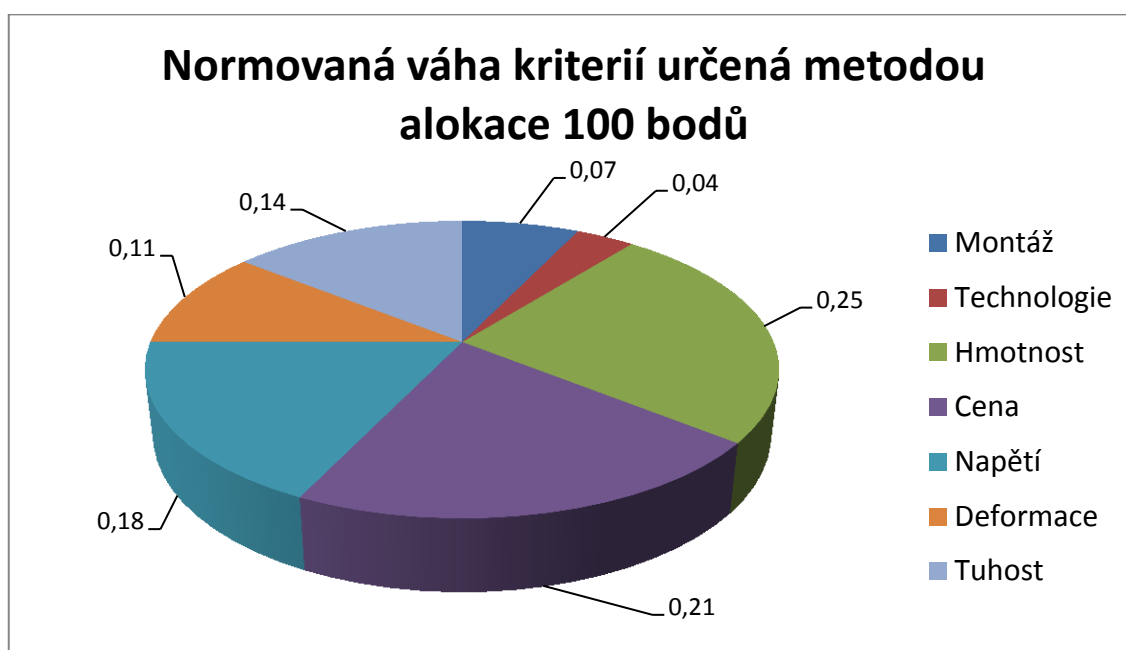
	Body	Pořadí	Nenorm. váha	Norm. váha
Hmotnost	55	1	3	0,5
Montáž	25	2	2	0,3
Technologie	20	3	1	0,2



*Graf 5 – Normovaná váha kritérií u koncepčních variant  
metodou alokace 100 bodů [Autor]*

*Tabulka 19 – Alokace 100 bodů u kritérií celkového hodnocení variant [Autor]*

	Body	Pořadí	Nenorm. váhy	Norm. váhy
Montáž	5	6	2	0,07
Technologie	5	7	1	0,04
Hmotnost	30	1	7	0,25
Cena	20	2	6	0,21
Napětí	20	3	5	0,18
Deformace	10	5	3	0,11
Tuhost	10	4	4	0,14



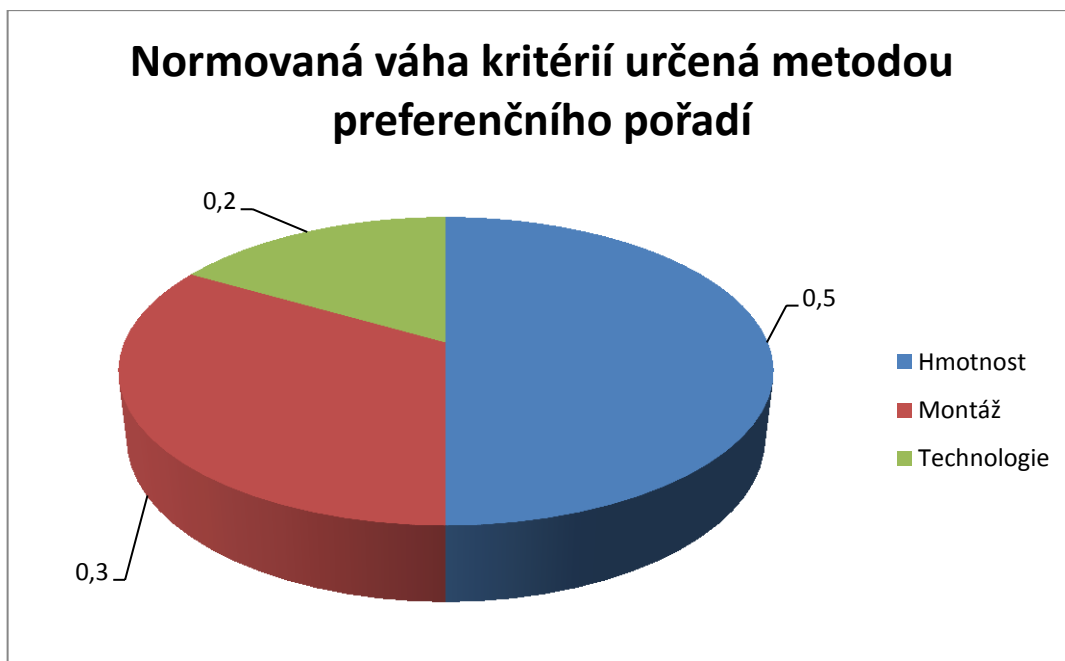
*Graf 6 – Graf normovaných vah pro celkové hodnocení variant  
určených metodou alokace 100 bodů [Autor]*

### **Metoda stanovení preferenčního pořadí kritérií**

Hodnotitel hodnotí přímo pořadí významnosti kritérií od nejvýznamnějšího (první místo v pořadí) až k nejméně významnému (poslední místo v pořadí). Pro výpočty nenormovaných vah použijeme vztah (11) a pro výpočet normovaných vah použijeme vztah (12). Určení preferenčního pořadí kritérií je vidět na tabulkách níže (Tabulka 20 a Tabulka 21). [27]

*Tabulka 20 – Určení preferenčního pořadí u kritérií koncepčních variant [Autor]*

	Pořadí	Nenorm. Váha	Norm. váha
Hmotnost	1	3	0,5
Montáž	2	2	0,3
Technologie	3	1	0,2

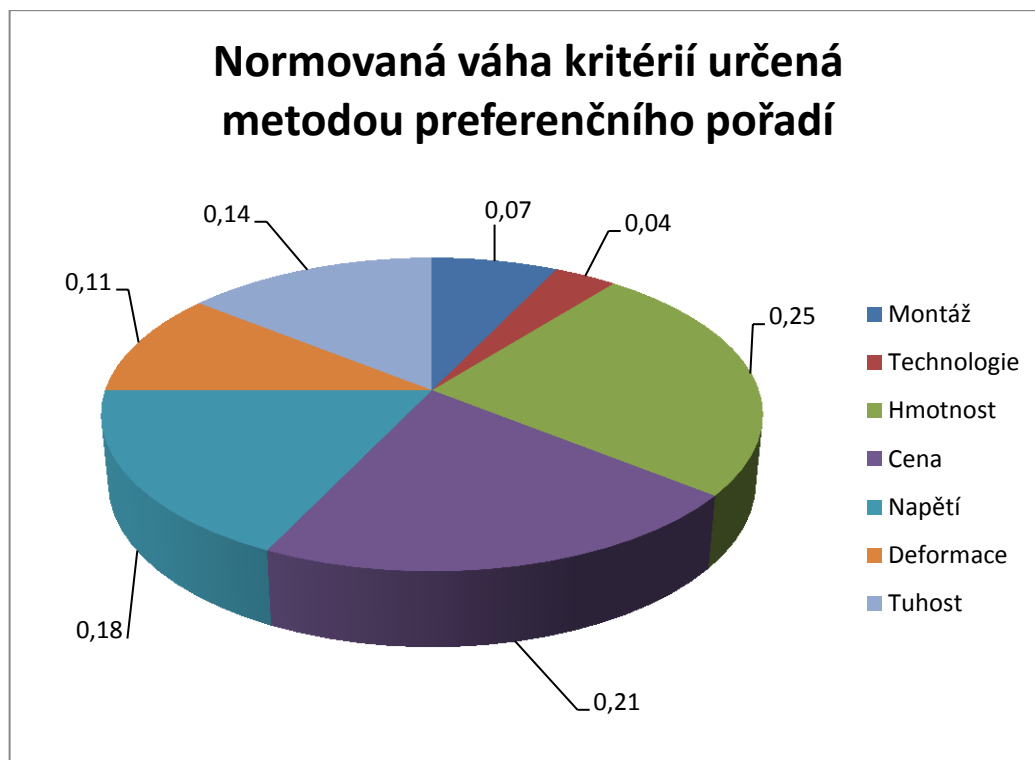


*Graf 7 – Graf normovaných vah u koncepčních variant metodou preferenčního pořadí [Autor]*

*Tabulka 21 – Určení preferenčního pořadí kritérií celkového hodnocení variant [Autor]*

	Pořadí	Nenorm.v.	Norm.v.
Montáž	6	2	0,07
Technologie	7	1	0,04
Hmotnost	1	7	0,25
Cena	2	6	0,21
Napětí	3	5	0,18
Deformace	5	3	0,11
Tuhost	4	4	0,14





*Graf 8 – Graf normovaných vah pro celkové hodnocení variant  
určených metodou preferenčního pořadí [Autor]*

#### Vyhodnocení vah kritérií

##### **Metoda komplexního užitku funkce**

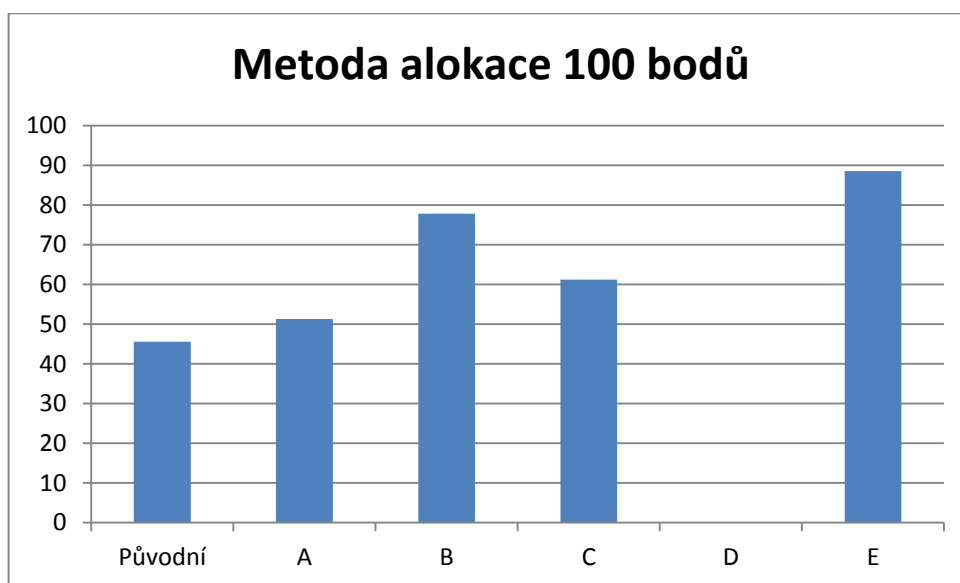
Metoda je exaktní metodou komplexního hodnocení alternativ, vycházející ze soustavy axiomů, které se vztahují k chování subjektu, při rozlišování preferencí alternativ hodnocení. Tato funkce přiřadí každé alternativě hodnocení užitek. Čím je číslo větší, tím více je daná alternativa hodnotitelem preferována. [27]

$$U_j^k = \sum_{i=1}^n u_i(x_{i,j}) \cdot v_{i,k} \quad 13)$$

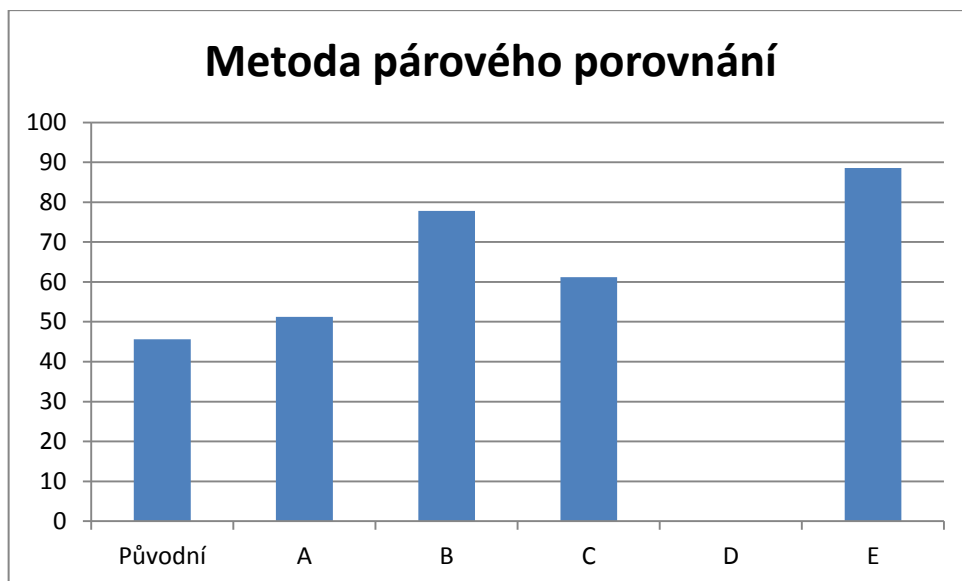
*Tabulka 22 – Vyhodnocení variant konceptů [Autor]*

Varianta	Hmotnost	Montáž	Technologie	100b	Pár. Por.	Pref. poř.	Pořadí
Původní	47	50	33	46	46	46	6
A	58	50	33	51	51	51	5
B	78	100	33	78	78	78	3
C	56	50	100	61	61	61	4
D							
E	77	100	100	89	89	89	2

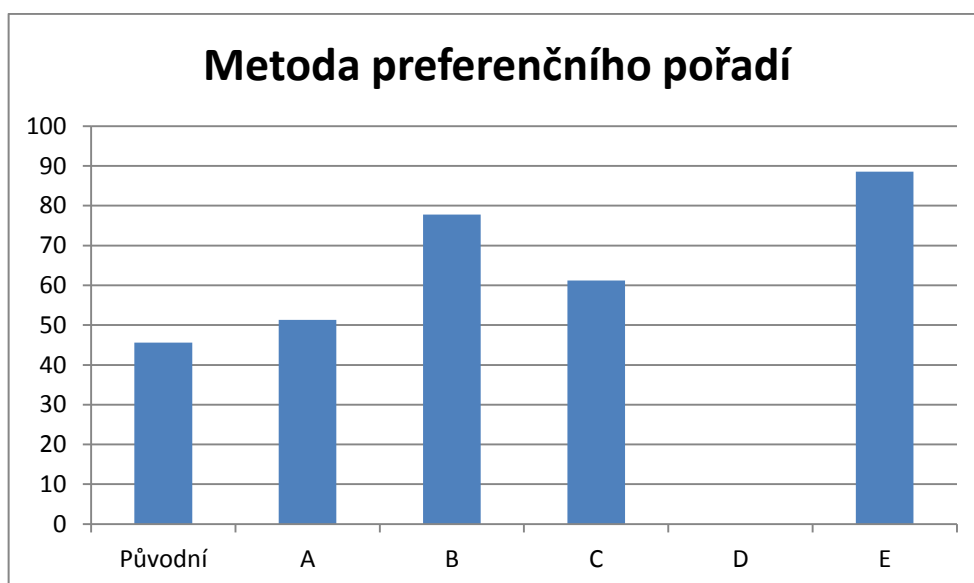
Výsledky z Tabulka 22 jsem názorně zobrazil v Graf 9 pro metodu alokace 100 bodů, pro metodu párového porovnání v Graf 10 a pro metodu preferenčního pořadí v Graf 11. Hodnoty výsledků všech použitých metod jsou graficky zobrazeny v kapitole 5.3. Výsledné hodnoty jsou pořadím varianty přes všechny použité metody. Použitím výsledného pořadí variant jsem posoudil nestrannost jednotlivých odhadů.



*Graf 9 – Porovnání koncepčních variant metodou alokace 100 bodů [Autor]*



*Graf 10 – Porovnání koncepčních variant metodou párového porovnání [Autor]*

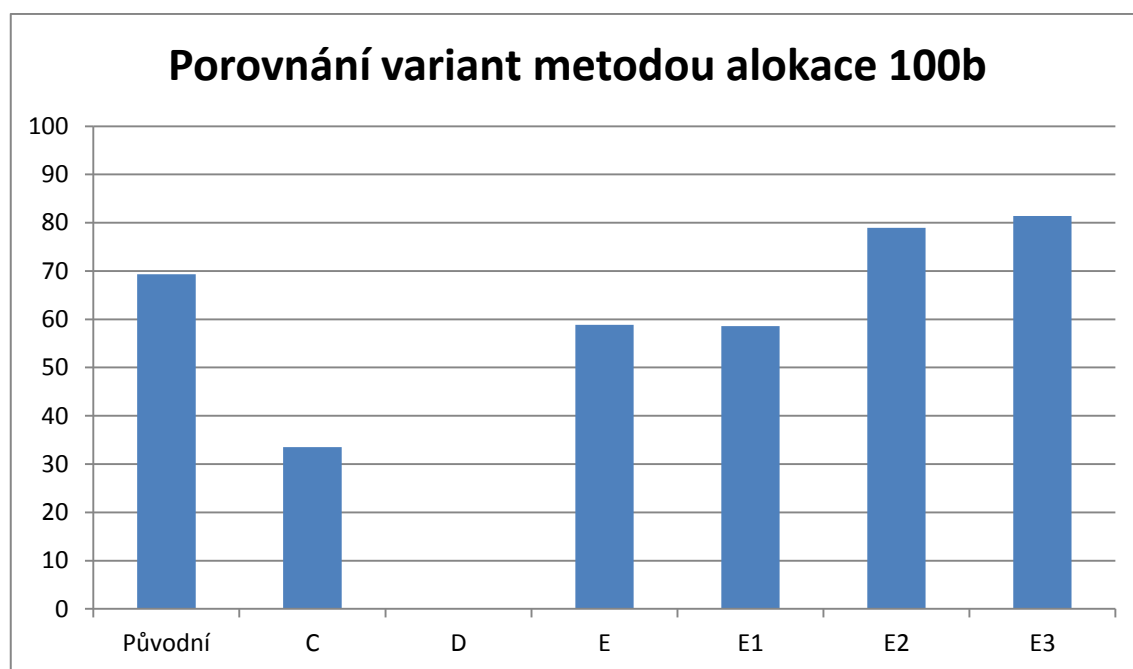


*Graf 11 – Porovnání koncepčních variant metodou preferenčního pořadí [Autor]*

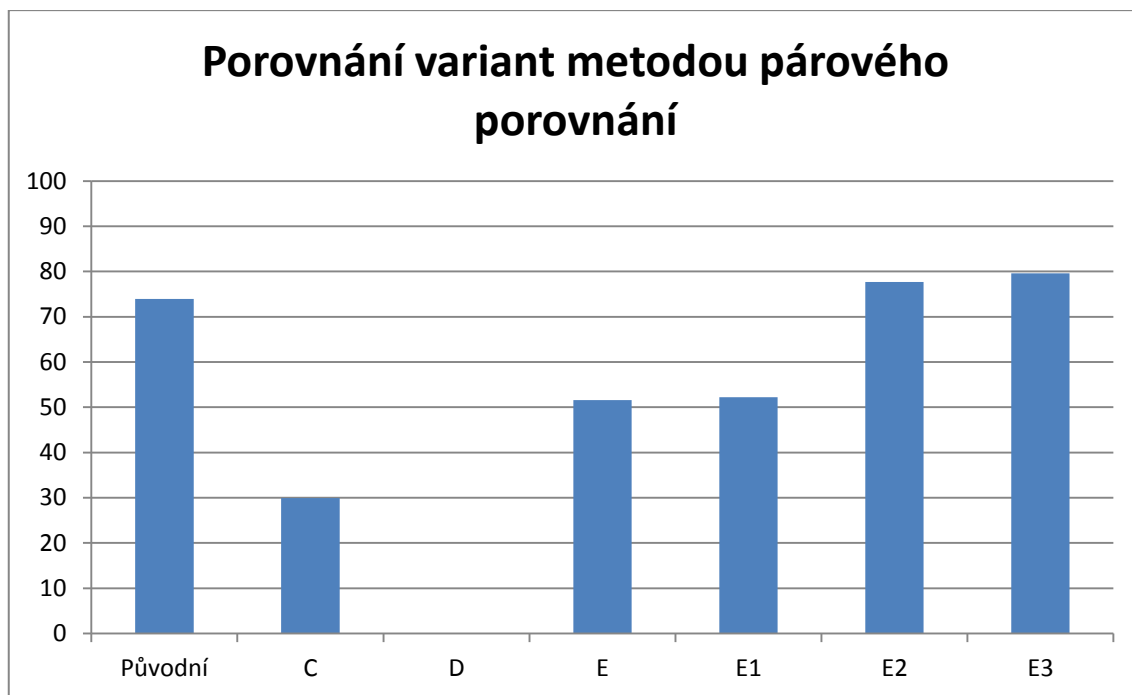
*Tabulka 23 – Celkové vyhodnocení variant [Autor]*

Var.	Montáž	Techn.	Hmot.	Cena	Nap.	Def.	Tuhost	100b	Pár.por.	Pref. poř.	Pořadí
Pův.	50	33	38	57	100	100	100	69	74	69	3
C	50	100	45	46	11	13	13	33	30	33	6
D											
E	100	100	62	98	23	30	30	59	52	59	5
E1	100	100	55	95	27	36	36	59	52	59	5
E2	100	100	95	94	23	82	82	79	78	79	2
E3	100	100	100	99	23	82	82	81	80	81	1

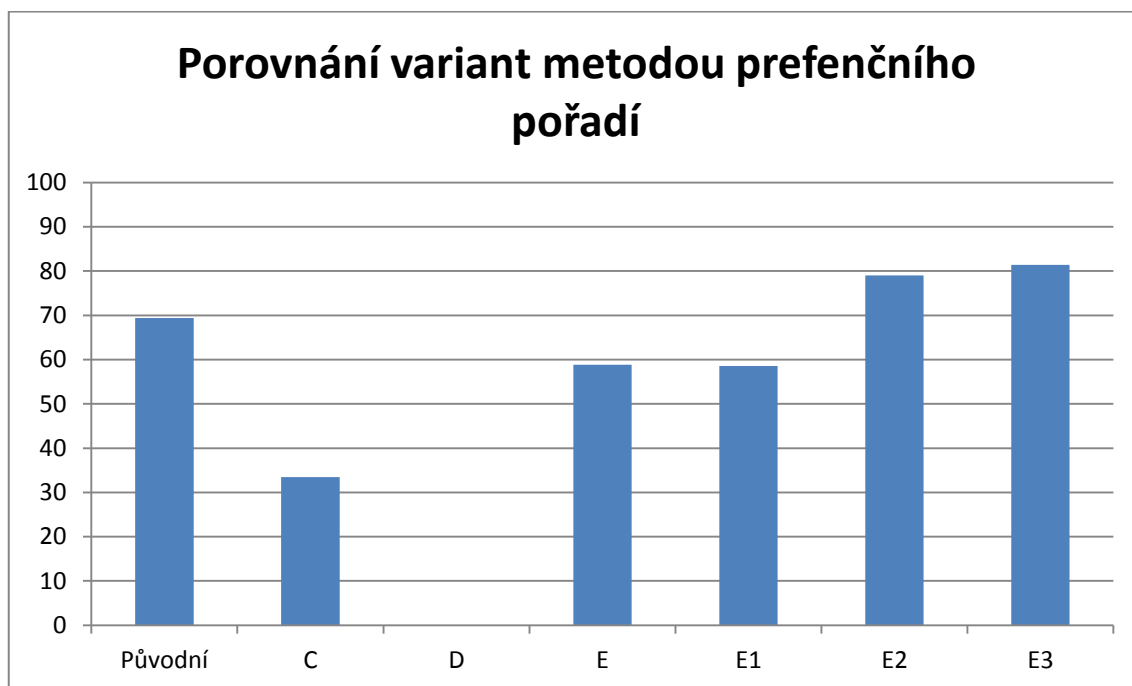
Výsledky z Tabulka 23 jsem názorně zobrazil v Graf 12 pro metodu alokace 100 bodů, pro metodu párového porovnání v Graf 13 a v Graf 14 pro metodu preferenčního pořadí. Hodnoty výsledků, všech použitých metod, jsou graficky znázorněny v kapitole 9. Výsledné hodnoty jsou pořadím varianty přes všechny použité metody. Použitím výsledného pořadí variant, jsem posoudil nestrannost jednotlivých odhadů.



*Graf 12 – Porovnání variant metodou alokace 100 bodů [Autor]*



*Graf 13 – Porovnání variant metodou párového porovnání [Autor]*



*Graf 14 – Porovnání variant metodou preferenčního pořadí [Autor]*

## Příloha C – Vady svarů a směsi ochranných plynů pro svařování

### Vady vznikající při svařování

Tabulka 24 – Vady svarů [23]

Název vady	Příčina vady
Trhliny za horka Trhliny za studena	Výskyt ve spodních vrstvách vícevrstvých svarů u ocelí s obsahem C cca 0,3%, vysoká rychlost svařování, rychlé ochlazování – nesprávný předehřev, nízké napětí a vysoký proud, vysoký obsah S v oceli, nevhodný profil svaru, nevhodný přídavný materiál u vysokolegovaných ocelí.
Pórovitost – na povrchu – vnitřní	Nedostatečná plynová ochrana – průvan, náklon hořáku, vysoké napětí, znečištěný povrch elektrody, voda z chlazení hořáku. Znečištění svarové plochy, vlhkost na materiálu, široká svarová mezera, rezavý povrch elektrody, rychlé kývání hořáku, nevhodný ochranný plyn, vysoký průtok plynu.
Nekovové vměstky	U vícevrstvých svarů – neočištěná, nepřetavená struska mezi housenkami.
Převýšený svar	Nízké napětí, špatné vedení hořáku, vysoká rychlost svařování.
Zápaly a vruby	Vysoké napětí, špatné vedení hořáku, vysoký svařovací proud, vysoká rychlost svařování.
Nedostatečný průvar	Nízký svařovací proud, malá kořenová mezera, vysoké otupení svarové plochy, spoj ve špatné vzájemné poloze.
Nadměrný rozstřík	Nedostatečná indukčnost, malá nebo naopak velká délka oblouku, nízké nebo vysoké napětí.
Úzký svar	Nízké napětí, vysoká rychlost, přímé vedení hořáku bez rozkyvu.

### **Směsi plynů používané pro svařování metodou MAG**


Směs  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  je ochranný plyn s lepšími vlastnostmi. Je dražší než  $\text{CO}_2$  a proto se používá ve velkých provozech a v situacích, s důrazem na kvalitu a produktivitu svařování. Podíl oxidu uhličitého ve směsi může být maximálně 25 [%]. Při vyšším podílu by se směs chovala stejně jako čistý  $\text{CO}_2$ . Nejčastěji se používá pro nelegované a nízkolegované oceli. Nejznámější směsi jsou 82 [%]  $\text{Ar} + 18$  [%]  $\text{CO}_2$  a 92 [%]  $\text{Ar} + 8$  [%]  $\text{CO}_2$ .

Směs  $\text{Ar} + \text{O}_2$  obsahuje maximálně 5 [%]  $\text{O}_2$ . Tyto směsi se využívají nejčastěji pro vysocelegované oceli, včetně nerezových. Nejpoužívanějšími jsou 97 [%]  $\text{Ar} + 3$  [%]  $\text{O}_2$  a 99 [%]  $\text{Ar} + 1$  [%]  $\text{O}_2$ .

Vícesložkové směsi na bázi argonu obsahují kromě argonu ještě  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}$  a další. Jde o plyny pro speciální účely, automatizované a robotizované svařování, nebo s menší emisí škodlivin apod. Nejčastěji používanou směsí je 93 [%]  $\text{Ar} + 5$  [%]  $\text{CO}_2 + 3$  [%]  $\text{O}_2$ .

Větší efektivita oproti ručnímu svařování obalovanou elektrodou asi 80-95% (MMA kde se využije jen 65% materiálu). Použití pro svařování lehkých až středně těžkých ocelových konstrukcí a nerezových ocelí. [23]

## Příloha D – Specifikace přídatného materiálu



# OK AristoRod 13.12

SFA/AWS A 5.28: ER 80S-G  
 EN ISO 21952-A: G CrMo1Si  
 GOST 2246: 08X CM A  
 EN ISO 21952-B: G 55 M 1CM3

**Použití:**  
 Nízkolegovaný drát s 1% Cr, 0.5% Mo pro svařování žárovevých a nízkolegovaných ocelí s vyšší pevností s pracovní teplotou do 450°C.

Interpass teplota	150 - 300 °C
Předehřev	150 - 300 °C pro C1
Předehřev	220 - 250 °C pro M21

**Vhodnost pro svařování např.:**  
 13CrMo 4-5, G17CrMo5-5 25CrMo4 a jiné

**Klasifikace, certifikace:**  
 TÜV 10089

**Ochranný plyn (EN ISO 14175):**  
 M21, C1

**Klasifikace svařovacího kovu:**

EN ISO 21952-A	G CrMo1Si
EN ISO 21952-A	W CrMo1Si
EN ISO 21952-B	G 55M 1CM3
EN ISO 21952-B	W 55 1CM3
SFA/AWS A5.28	ER80S-G
GOST 2246	08X CM A

**Svařovací proud:**

**Typické chemické složení drátu (%):**

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,10	0,60	1,00	1,10	0,50

**Polohy svařování:**

**Jiné údaje:**  
 W.Nr. 1.7339

**Typické mechanické hodnoty čistého svařovacího kovu:**

Podmínky	Stav	Plyn	Tepl. zk. °C	R <sub>m</sub> MPa	R <sub>0.2</sub> MPa	A <sub>5</sub> %	KV (J/cm²)			(K-HB)
							+20	0	-20	
EN	TZ 0	M21	+20	785	670	18	40	30	25	270
EN	TZ 0	M21	+450	780	605	15				
EN	TZ 1	M21	+20	580	450	24	80	40	30	190
EN	TZ 1	M21	+450	500	390	17				
EN	TZ 2	M21	+20	460	320	35	115	60	30	140
EN	TZ 2	M21	+450	410	210	25				

TZ 0 - stav po svařování, TZ 1 - stav po žhání 700°C/0,5 h, TZ 2 - stav po TZ 940°C + 730°C/15h.

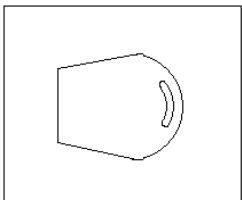
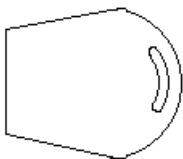
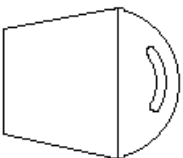
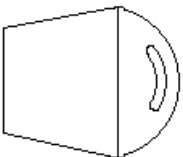
**Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty:**

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Výlet drátu (mm)	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,8	40 - 170	16 - 22	10	12	2,0 - 10,8	0,4 - 2,6
1,0	80 - 280	18 - 28	15	15	2,7 - 14,7	1,0 - 5,4
1,2	120 - 350	20 - 33	20	18	2,7 - 12,4	1,5 - 6,6
1,6	225 - 480	26 - 38	30	20	3,1 - 8,1	3,3 - 11,6

[26]



## Příloha E – Technologický postup výroby ohýbané součásti

Číslo operace	Schéma	Popis	Použité stroje/nástroje
1		Vypálení plechu	Laserová řezačka
2		Odjehlení	Ruční pilník
3		Ohýbání	Ohýbačka
4		Čištění svarových ploch	Hadra, technický benzín

[Autor]

## **Příloha F – 3D model držáku sloupku řízení**



[Autor]



[Autor]

## **Příloha G – Výkresová dokumentace**